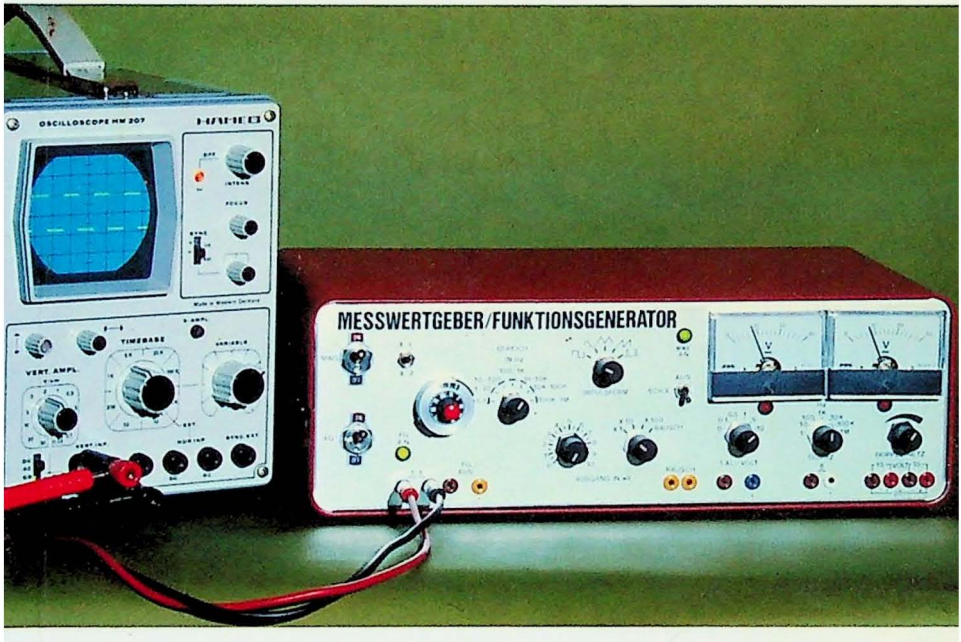
Telekosmos
Hobby-
Elektronik

Neu – mit
3 A-Instant-Print-System
für schnelle und fehlerfreie
Platinenherstellung

Friedhelm Schiersching

Meßwertgeber und Funktionsgenerator – selbstgebaut



6 Kalibrierspannungen von 0-10 V, 7 dekadisch geteilte Quarzfrequenzen 1 Hz-1 MHz, Funktionsgenerator mit 5 verschiedenen Impulsformen, digitale Frequenzanzeige, Rauschgenerator und symmetrisch regelbares Netzgerät 0 bis ± 15 V/1 A.

Telekosmos Hobby-Elektronik

Friedhelm Schiersching

Meßwertgeber und Funktionsgenerator – selbstgebaut

6 Kalibrierspannungen von 0-10 V, 7 dekadisch geteilte Quarzfrequenzen 1 Hz-1MHz, Funktionsgenerator mit 5 verschiedenen Impulsformen, digitale Frequenzanzeige, Rauschgenerator und symmetrisch regelbares Netzgerät 0 bis ± 15 V/1 A.

Telekosmos-Verlag
Franckh'sche Verlagshandlung
Stuttgart

Mit 8 Fotos vom Verfasser auf 4 Tafeln
und 50 Zeichnungen von Christiane Mayer nach Vorlagen des Verfassers (40) und vom Verfasser (10)

Umschlaggestaltung von Edgar Dambacher
unter Verwendung eines Dias von Wolfgang Günther

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Schiersching, Friedhelm:
Meßwertgeber und Funktionsgenerator – selbstgebaut: 6 Kalibrierspannungen von 0-10 V, 7 dekad. geteilte Quarzfrequenzen 1 Hz-1 MHz, Funktionsgenerator mit 5 verschiedenen Impulsformen, digitale Frequenzanzeige, Rauschgenerator u. symmetr. regelbares Netzgerät 0 – ± 15 V/1 A /Friedhelm Schiersching. [Mit 50 Zeichn. von Christiane Mayer nach Vorlagen d. Verf. u. vom Verf.]. – Stuttgart: Franckh, 1981.
(Telekosmos-Hobby-Elektronik)
ISBN 3-440-04975-2
NE: GT

Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart / 1981
Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.
© 1981, Franckh'sche Verlagshandlung, W. Keller & Co., Stuttgart
Printed in Germany / Imprimé en Allemagne / L17PA H hc / ISBN 3-440-04975-0
Gesamtherstellung: Brönner & Daentler KG, Eichstätt

Meßwertgeber und Funktionsgenerator – selbstgebaut

1. Wozu einen Meßwertgeber bauen? 7

2. Der Meßwertgeber in der Übersicht 12

3. Das Netzteil 14
3.1 Aufbau des Netzteils 25

4. Kalibrator für 0, 1-0, 5-1-5-10 Volt-Festspannung 27
4.1 Aufbau und Einstellung des Kalibrators 35

5. Doppelnetzgerät, einstellbar von 2 x 0 bis 15 Volt bzw. von 1 x 0 bis 30 Volt 41
5.1 Aufbau des Doppelnetzteils 45

6. Der Rauschgenerator 47
6.1 Aufbau des Rauschgenerators 51

7. Ein Quarzgenerator mit Impulsausgängen von 1 MHz, 1 bis 100 kHz und 1 bis 100 Hz. 52
7.1 Der Aufbau des Quarzgenerators 56

8. Funktionsgenerator mit sehr breitem Frequenzband 58
8.1 Die Schaltung des Funktionsgenerators 60
8.2 Der Aufbau des Funktionsgenerators 76

9. Das Gehäuse des Meßwertgebers 85

10. Einbau und Abgleich 87

11. Digitale Frequenzanzeige für den Funktionsgenerator 94
11.1 Die Schaltung der Frequenzanzeige 95
11.2 Der Aufbau der Frequenzanzeige 105
11.3 Abgleich der Frequenzanzeige 111

12. Anhang 113
12.1 Widerstandstabelle 113

13. Bezugsquellenverzeichnis 114

Das 3A-Instant-Print-System 115

1. Wozu einen Meßwertgeber bauen?

Es gibt bei den Elektronikern ein geflügeltes Wort: „Wer viel mißt, mißt viel Mist". Dieser Denkspruch ist viel älter als die Elektronik, trifft aber für diesen Technikbereich besonders häufig zu.
Da hat sich nun der Hobby-Elektroniker endlich einmal daran gewagt, eine Schaltung selbst zu berechnen und aufzubauen, und nun stimmen die gemessenen Werte nicht mit seinen Berechnungen überein! So etwas soll zwar auch den hochqualifizierten Profis unterlaufen, doch finden diese ihre Fehler meist schneller. Der Hobby-Elektroniker steht zunächst einmal seinen Meßwerten verständnislos gegenüber. Wem soll er nun trauen, den Meßgeräten oder seinen Berechnungen?
Oft zeigt sich, daß die Berechnungen richtig waren und sich durch die falsche Wahl der Meßgeräte oder aber durch die falsche Handhabung andere Werte ergaben. Nicht immer stehen gute Meßgeräte zur Verfügung, und so wichtig diese Instrumente sind, so reißt doch ihre Anschaffung ein großes Loch in die häufig kleine Kasse des Hobby-Elektronikers. Also werden meistens preiswerte Geräte erstanden mit der Folge, daß dann die Meßgenauigkeit nicht sehr groß ist. Das beginnt z. B. schon bei Spannungsmessern. Hier ist ein Faktor von großer Bedeutung: der Innenwiderstand des Instrumentes. Wir werden bei der Beschreibung des Kalibrators noch im besonderen darauf eingehen. Billige Geräte haben meist nur einen Innenwiderstand von 1000 Ohm, und das ist in den meisten Fällen zu wenig. Wir werden später nachrechnen können, daß bei der Verwendung eines solchen Gerätes Fehlmessungen von über 50 % (!) entstehen können. Das kann aber in Schaltungen, die z. B. mit TTL-IS bestückt sind, die ja nur mit höchstens 5,5 Volt betrieben werden dürfen, zur tödlichen Falle für die kleinen „Käfer" werden. Wir messen beispielsweise 5 Volt und stellen diese auch ein, haben aber in Wirklichkeit 7 oder 8 Volt, und die IS ist zerstört.
Die Meßgeräte sollten einen Innenwiderstand von mindestens 10, besser noch 20 kOhm aufweisen. Diese Werte sind entweder auf den Geräten selbst oder in den beiliegenden Bedienungsanleitungen vermerkt, beziehen sich aber immer auf eine Gleichspannungsmessung im größten Meßbereich, selten auch auf eine Wechselspannungsmessung, bei der oft nur der halbe Wert gültig ist. Im mittleren Meßbereich ist der Innen-

widerstand dann nur noch fast halb so groß wie im größten, um im kleinsten Bereich bis auf ein Zehntel des angegebenen Wertes abzusinken.
Bei Strommessungen sind die Verhältnisse genau umgekehrt: hier muß der Innenwiderstand möglichst klein sein. In den meisten Bedienungsanleitungen werden jedoch – wenn überhaupt – die Spannungsabfälle in den einzelnen Meßbereichen angegeben. Nun ist bei einem Meßbereich von 500 mA ein Spannungsabfall von 200 mV noch ein guter Wert. In den kleineren Meßbereichen verringert sich der Spannungsabfall jedoch, um dann in den niedrigsten Meßbereichen (z. B. 5 µA) stark anzusteigen.
Doch nicht nur der Innenwiderstand ist wichtig. Auf den Geräten finden sich noch andere Bezeichnungen, die zu beachten sind. Da ist beispielsweise die Angabe der Güteklasse, die sich als Zahl auf dem Meßwerk befinden sollte. Die Güteklassen reichen von der Klasse 5 (die schlechteste unter den Billiggeräten) bis zur Klasse 0,1 (Geräte dieser Klasse sind für den Hobby-Elektroniker unerschwinglich). Die gebräuchlichste Güteklasse ist 2,5, bei teureren Geräten wäre Güteklasse 1,5 noch erschwinglich. Die Zahl der Güteklasse besagt nichts anderes, als daß ein gemessener Wert um einen entsprechenden Prozentsatz (z. B. 2,5 oder 1,5 %) abweichen kann. Nun ist aber die Handhabung der Güteklassenzahl sehr unterschiedlich: Bei den meisten Geräten wird der Wert auf das Skalenende bezogen und seltener und nur bei guten Geräten auf die gesamte Skala. Wie sich dies auswirkt, soll ein Beispiel zeigen. Bezieht sich der Wert auf das Skalenende und ist ein Bereich von 100 Volt eingestellt, so kann die Abweichung 2,5 Volt betragen. Diese 2,5 Volt gelten für die gesamte Skalenlänge, werden im angesprochenen 100 Volt-Bereich 5 Volt gemessen, so kann der tatsächliche Wert bei 2,5 Volt oder aber auch bei 7,5 Volt liegen. Darum ist es besser, immer in dem kleinsten Bereich zu messen, so daß der Meßwert in der zweiten Hälfte (besser noch im dritten Drittel) der Skala angezeigt wird. Würde beispielsweise für eine Messung von 5 Volt der Bereich 10 Volt gewählt, dann würde im vorliegenden Fall der tatsächliche Wert vom angezeigten nur noch um 0,25 Volt abweichen.
Auf dem Gerät sollte außerdem angegeben sein, in welcher Lage sich das Instrument bei der Messung befinden muß. Ist als Meßlage „waagerecht" oder „liegend" angegeben, so muß das Gerät auch völlig flach liegen, obwohl es sich oft besser ablesen lassen würde, wenn es etwas geneigt wäre.

Wieso kann eine falsche Lage eine Fehlerquelle darstellen? Dies hat mechanische Gründe, da die beweglichen Teile des Anzeigeinstruments irgendwie gelagert sind. Meistens befindet sich die Achse des Zeigers, die dann sehr spitz ist, um möglichst geringe Reibung entstehen zu lassen, in einer entsprechenden Lagerbuchse. Wird das Gerät angehoben, so reibt die Achse an der Seitenfläche des Lagers und bremst den Zeiger. Bei falscher Lage können sehr schnell anstelle von 17 Volt 20 Volt gemessen werden, und das ist nun schon eine Abweichung von rund 15 %!
Zu dem Anzeigefehler kommt möglicherweise ein Ablesefehler hinzu. Zeigerinstrumente müssen genau über bzw. unter dem Zeiger abgelesen werden (parallaxenfrei). Wird der Zeiger von der Seite betrachtet, so kann ein Wert abgelesen werden, der schon einige Striche neben dem tatsächlich angezeigten Wert liegt. In einem hohen Meßbereich resultiert daraus schon eine beträchtliche Differenz zwischen abgelesenem Wert und angezeigtem Wert.
Wir haben also gesehen, daß durch richtige Wahl und richtige Handhabung eines Meßgerätes viele Meßfehler vermeidbar sind. Zusammenfassend kann man sagen, daß – wenn man es sich finanziell leisten kann – ein Meßgerät mit eingebautem Verstärker verwendet werden soll, das einen Innenwiderstand von mindestens 10 MOhm aufweist und die Güteklasse 1,5 besitzt. Nochmals weise ich darauf hin, daß alles bisher Gesagte nahezu ausschließlich für Gleichspannungsmessungen Gültigkeit besitzt. Wechselspannungs- und Impulsmessungen unterliegen anderen Gesetzen. Werden beispielsweise hochfrequente Wechselspannungen mit einer Frequenz oberhalb von 20 kHz gemessen, so ergeben sich automatisch Abweichungen bis zu 5 %, Abweichungen, die ohne einen Oszillografen nicht genau zu erfassen sind. Doch davon später mehr.
Digital, also mit Leuchtziffern anzeigende Meßgeräte, kommen in immer größerer Anzahl und zu immer erschwinglicheren Preisen in den Handel. Die Anzeigen sind leicht abzulesen und ermöglichen Messungen von bis zu 2 oder gar 3 Stellen hinter dem Komma. Außerdem haben diese Geräte, schon durch ihren Aufbau bedingt, einen großen Innenwiderstand, der bei mindestens 10 MOhm liegt. Dadurch wird die zu messende Schaltung noch weniger belastet und die Messung noch genauer. Nur wäre es ein Fehler anzunehmen, Digitalmeßgeräte seien von vornherein genauer als Zeigerinstrumente. Es ist vielmehr zu fragen: „Wer kontrolliert die Kontrolleure?". Ein Meßgerät, das mit einem Bausatz schnell und

sicher aufgebaut worden ist, muß – bevor es zur Messung taugt – erst einmal abgeglichen werden. Wohl die meisten Hobby-Elektroniker nehmen nun ihr altes Zeigermeßgerät und benützen es zum Kalibrieren. Damit besitzt aber das Digitalmeter den gleichen Fehler wie das alte Analoginstrument. Nur die hochwertigen Digitalmeter werden vom Hersteller abgeglichen geliefert, und auch bei diesen erstreckt sich die Garantie für eine angegebene Genauigkeit auf ein Vierteljahr, im Höchstfalle auf sechs Monate. Dann müssen die Instrumente zum Neuabgleich zurück an den Hersteller oder bei Geräten, die für die Öffentlichkeit wichtig sind, wie z. B. Waagen, zu einer Eichstelle. Der Hobby-Elektroniker ist wohl kaum in der Lage, sein Gerät – oder gar mehrere – zum Deutschen Kalibrierdienst für Meßgeräte nach Köln einzuschicken. Die ihm dabei entstehenden Kosten wären höher als die für ein neues, besseres Gerät. Es geht aber nicht nur um Zeiger- oder Digitalmeßgeräte. Ein Oszilloskop hat seinen Einzug schon in manchem Hobbyraum gehalten, und auch diese Geräte gibt es bereits als preiswerte Bausätze im Handel. Aber selbst das preiswerteste Gerät ist immer noch zu teuer, wenn man nur Kurvenzüge damit betrachten will, denn das geht mit einem Anschlußteil und einem alten Fernseher genausogut und erheblich billiger. Ein Oszilloskop ist eine wertvolle Meßhilfe, doch die Angaben auf dem Schirm müssen eben auch stimmen! Wenn das Gerät richtig abgeglichen ist, so können z. B. nach dem Bildraster von 5 oder 10 mm Frequenzen, Effektivwerte von Wechselspannungen, Maximalwerte von Wechselspannungen oder von Spitzenspannungen bei nichtsinusförmigen Spannungen etc. gemessen werden. Fertig gekaufte Geräte sind nicht unbedingt ausreichend kalibriert, und häufig liegt solchen Geräten gleich ein Hinweis mit bei, wie der Abgleich vorzunehmen ist. Dazu sind dann aber wieder Vergleichsnormale notwendig, die der Hobby-Elektroniker nicht hat. Für alle beschriebenen Fälle ist ein Meßwertgeber notwendig, und einen solchen wollen wir im vorliegenden Buch ja auch bauen. Mit ihm können Spannungsmesser – seien sie analog oder digital – genau kalibriert werden, bei sorgfältigem Aufbau auf Abweichungen von kleiner als 0,1 %. Die Genauigkeit eines Oszilloskopes kann kontrolliert und das Gerät eventuell neu eingestellt werden. Mit Hilfe des selbstgebauten Meßwertgebers können natürlich auch andere Schaltungen und Geräte überprüft und abgeglichen werden, z. B. Frequenzmesser oder Verstärker, die im besonderen

daraufhin untersucht werden können, in welchem Frequenzbereich sie noch ohne Verzerrung verstärken. Das Gerät besitzt einen Rauschgenerator, mit dem Messungen im HF- und NF-Bereich möglich sind, so daß z. B. die Durchlaßkurven von Filtern erstellt werden können. Es sind noch viele andere nützliche Messungen mit diesem Gerät möglich, auf diese wird bei den entsprechenden folgenden Kapiteln eingegangen werden.

Abschließend noch ein paar Sätze zum Sprachgebrauch. Wir haben im vorgenannten Text drei verschiedene Vorgänge bezeichnet, die scheinbar dasselbe beschreiben und doch unterschiedliche Bedeutung haben, nämlich Messen, Prüfen und Kalibrieren (Eichen). Prüfen ist nichts anderes als ein Kontrollvorgang, bei dem eine Schaltung oder ein Gerät auf seine Funktionsfähigkeit hin untersucht wird. Eine Prüfung kann – muß aber nicht – einen Meßvorgang beinhalten, der Größen ergibt, die aussagen, in welchem Umfang eine Schaltung die geforderte Funktion erfüllt. Für eine genaue Messung benötigt man ein kalibriertes Gerät, d. h. ein Gerät, das auf einen genau bekannten Vergleichswert abgestimmt worden ist. Eichen ist ein amtlicher Vorgang und wird von den dafür zuständigen Eichämtern bzw. der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt durchgeführt. Ein Eichvorgang ist nichts anderes als ein exaktes Kalibrieren, wobei allerdings der Vergleichswert sehr exakt und meist genauer als für den Hobby-Elektroniker notwendig definiert ist. Unser selbstgebauter Meßwertgeber dient also nicht zum Messen, sondern zum Kalibrieren von Meßgeräten oder Schaltungen. Es werden in diesem Gerät zwei Meßwertgeber verwendet, die durch ihren Aufbau bereits so genau definierbar sind, daß sie selbst nicht mehr kalibriert werden müssen. Auf diese Vergleichsnormale aufbauend, kann dann das ganze Gerät so weit abgeglichen werden, daß alle Einzelfunktionen des Meßwertgebers eine hohe Genauigkeit erreichen. Es ist außerdem Wert darauf gelegt worden, daß es leicht aufzubauen ist und daß Teile verwendet werden, die in allen gut geführten Elektronik-Bastelgeschäften vorhanden sein sollten oder über den Versandhandel bezogen werden können.

2. Der Meßwertgeber in der Übersicht

Das Gerät besteht aus zwei Hauptplatinen mit jeweils einer kleinen Zusatzplatine. Die Hauptplatinen wurden für das Europa-Karten-Format von 160 x 100 mm ausgelegt. Bei der Gestaltung der Leiterbahnführung wurde auf Einfachheit und Übersichtlichkeit Wert gelegt, so daß das Ätzen der Platinen, vor allem wenn man das Instant-Print-System verwendet, keine Schwierigkeiten bereiten dürfte. Aufgrund der Platinengröße ist es möglich, verschiedene Gehäuse zu wählen. Es wird deshalb kein Gehäuse als verbindlich vorgegeben, sondern nur ein Vorschlag unterbreitet, wie man die Frontplatte gestalten kann.
Auf der einen Hauptplatine befindet sich der Funktionsgenerator, der im zweiten Teil dieses Buches beschrieben wird. Auf der anderen Hauptplatine sind mehrere Funktionsgruppen vereinigt. Das Blockschaltbild *(Bild 1)* zeigt, daß es sich dabei um ein Netzteil, einen Rausch-

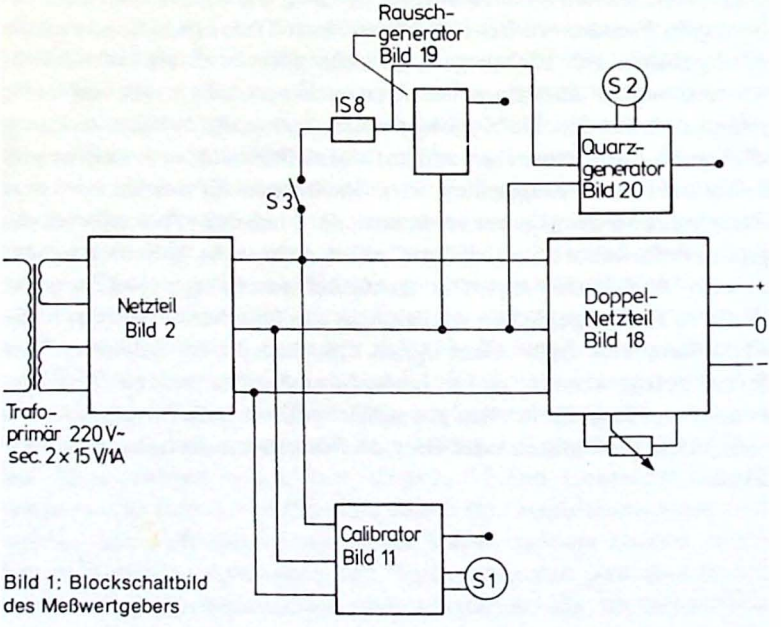


Bild 1: Blockschaltbild des Meßwertgebers

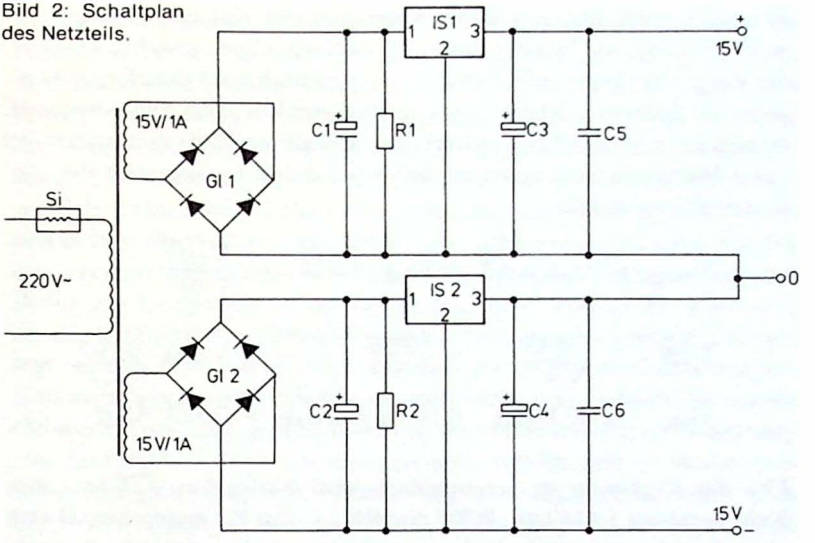
generator, einen Quarzgenerator sowie um einen Kalibrator und um ein Doppelnetzteil handelt. Durch die Auswahl der Bauelemente ist es möglich, alle diese Gruppen auf verhältnismäßig engem Raum unterzubringen. Dennoch sind diese Bausteine preiswert und überall erhältlich, auch wenn sich auf dieser Platine (Platine 2) eine nicht ganz so bekannte IS befindet, wie die SAJ 141. Diese IS ist ein hervorragender Frequenzteiler, und eine einzige SAJ 141 ersetzt z. B. drei IS der Typen SN 7490. Die SAJ 141 hat außerdem nur 8 Anschlüsse und nimmt sehr wenig Platz ein.

Die Stromversorgung für beide Platinen erfolgt durch einen Netztransformator. Die Schaltungen selbst nehmen sehr wenig Strom auf, ihr Verbrauch liegt im mA-Bereich. Das Netzteil liefert zweimal 1 Ampere, die aber nur sehr selten benötigt werden, da ja auch Operationsverstärker – die häufig eine Doppelspeisung benötigen – kaum mehr als einige mA benötigen. Es ist also genügend Reserve vorhanden. Bis auf zwei Meßwertgeber müssen die anderen Gruppen zunächst einmal selbst abgeglichen werden. Es lohnt sich, dafür Zeit aufzuwenden, da ein genauer Abgleich später die Erzeugung genauer Meßwerte möglich macht. Wer also den Zeitaufwand und einige eventuell noch hinzukommende Materialkosten nicht scheut, kann zum Schluß ein Gerät vorweisen, das von seiner Leistung her mit manchen teuren Geräten konkurrieren kann. Es sollte eigentlich nicht stimmen, daß ein hübsch gestaltetes Gehäuse ein Meßgerät besser macht. In der Praxis trifft dies aber häufig zu, da eine sorgfältige Außengestaltung auch auf eine sorgfältige elektronische Arbeit schließen läßt. Ganz unabhängig davon hilft natürlich eine gut gestaltete und sauber beschriftete Frontplatte, Bedienungsfehler und Verwechslungen auszuschließen. Für die Wahl des Gehäuses noch ein Hinweis: Das Meßgerät enthält zwei Generatoren, die teilweise mit einer hohen Frequenz arbeiten. Diese Frequenzen können unter Umständen abgestrahlt werden und bei Radio und Fernsehen stören. Schon aus diesem Grunde sollte das Gehäuse aus Metall sein, um eine hinreichende Abschirmung zu gewährleisten. Wie man ein solches Gehäuse erdet, damit es nicht als Ganzes Frequenzen abstrahlt, wird noch besprochen.

3. Das Netzteil

Nur wenige Hobby-Elektroniker besitzen ein Doppelnetzgerät, obwohl es preiswert ist bzw. leicht und einfach aufgebaut werden kann. Für die meisten Selbstbauschaltungen mag ein einfaches Netzgerät ausreichen, doch spätestens dann, wenn man eine interessante Schaltung entdeckt, die eine IS enthält, welche eine symmetrische Spannungsversorgung erfordert, wird man ein Doppelnetzgerät vermissen.
Operationsverstärker-IS müssen nicht unbedingt eine symmetrische Spannungsversorgung haben. Es geht auch asymmetrisch mit nur einer Spannung. Doch welcher Hobby-Elektroniker ist ohne Hilfe in der Lage, eine symmetrisch ausgelegte Schaltung in eine asymmetrische umzustricken? Ganz abgesehen davon gibt es bestimmte Schaltungen, bei denen das gar nicht geht und die eine symmetrische Spannungsversorgung brauchen, um optimal zu arbeiten. Wer außerdem etwa mit Mikroprozessoren und Speicher-IS bastelt, für den sind mindestens zwei Spannungen (+ 5 Volt/ – 5 Volt), besser sogar drei verschiedene (+ 5/+ 12/ – 12), unabdingbar. Es gibt nur sehr wenige IS dieser Art, die mit Singlesupply, d. h. mit einer einzigen Spannung betrieben werden können. Das hier beschriebene Netzteil liefert einmal den Strom für unsere Kalibrierschaltung und die Teilspannungen für das eigentliche Doppelnetzgerät. Das Netzteil und das Doppelnetzgerät sind also zwei verschiedene Baugruppen, die getrennt aufgebaut und auch unterschiedlich gehandhabt werden. Den Schaltplan dieser ersten Baugruppe zeigt *Bild 2*. Der Trafo ist eine normale Ausführung mit primär 220 Volt und sekundär 2 x 15 Volt/1 Ampere. Beim Kauf muß auf zwei Punkte besonders geachtet werden: Die Wicklungen müssen voneinander getrennt sein, d. h. eine Wicklung mit Mittenanzapfung kann nicht verwendet werden; beide Wicklungen müssen mit 1 Ampere belastbar sein, dies ist leider nicht immer eindeutig angegeben. Oft findet man nur die Angabe der Gesamtbelastung, so daß ein preiswerter Transformator sehr leistungsfähig erscheint. Wir benötigen hier nicht mehr als 2 x 1 Ampere, können aber bei der Spannung bis auf 18 Volt sekundär gehen. Höher sollte die Spannung jedoch nicht sein, denn sonst müssen die nachfolgenden Spannungsregler die überschüssige Spannung als Wärme abgeben, und dies würde erhebliche Kühlmaßnahmen erforderlich machen. Bei 15

Bild 2: Schaltplan des Netzteils.



Volt Sekundärspannung ist eine Kühlung der Spannungsregler nicht unbedingt notwendig, zur Sicherheit genügt ein kleines aufschraubbares Kühlblech, wie es auch für kleinere Leistungstransistoren verwendet wird. Auch ein Trafo mit 2 x 12 Volt sekundär kann verwendet werden, allerdings mit Einschränkungen. Die auf den Trafos angegebenen Wechselspannungen beziehen sich immer auf den Effektivwert (V_{eff}). Der Effektivwert beschreibt aber eine Wechselspannung nicht hinreichend genau, zur exakten Definition muß man noch die Maximalspannung (V_{max}) und die Spitzenspannung (V_{ss}) kennen. *Bild 3* zeigt den Zusammenhang zwischen diesen drei Werten. U_{max} ist derjenige Spannungsbetrag, der von der Null-Linie bis zur Spitze der Sinuskurve

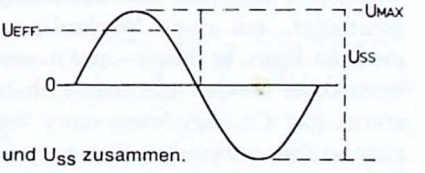


Bild 3: So hängen die Werte U_{eff}, U_{max} und U_{ss} zusammen.

gemessen wird. Diese Voltzahl kann man mit einfachen Meßgeräten nicht erfassen, da, bedingt durch die mechanisch verursachte Trägheit, der Zeiger der Sinuswelle nicht bis zu ihrem höchsten Punkt folgen kann, wenn die Spannung sehr schnell von Plus über Null nach Minus wechselt. Angezeigt wird der Effektivwert, der deshalb herkömmlicherweise bei einer Wechselspannung angegeben wird. Formelmäßig sieht der Zusammenhang so aus:

$$U_{max} = U_{eff} \cdot \sqrt{2} = U_{eff} \cdot 1{,}414 = \frac{U_{eff}}{0{,}707}$$

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{U_{max}}{1{,}414} = U_{max} \cdot 0{,}707$$

$$U_{ss} = 2 \cdot U_{max} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_{eff} = 2{,}828 \cdot U_{eff}$$

Um die Rechnung zu vereinfachen, wird häufig für $\sqrt{2}$ bzw. den Kehrwert statt 1,414 bzw. 0,707 einfach 1,4 oder 0,7 angegeben. Da wir aber ein sehr genaues Gerät bauen möchten, wollen wir auch von vornherein bei den Berechnungen auf Genauigkeit Wert legen und rechnen nach diesen Formeln einen Trafo durch, der 12 Volt (Effektivwert) sekundär liefert. Wir betrachten die Strecke Trafo – Gleichrichter Gl 1 – und Kondensator C 1. Nach Anlegen der Spannung stehen an dem Punkt, an dem Plusausgang von Gl 1, Pluspol von C 1, oberer Anschluß von R 1 und Anschluß 1 von IS 1 zusammenstoßen, 16,27056 Volt Gleichspannung an. Dies war nun keine Rechnung, sondern zunächst einmal eine Behauptung, und besonders den jüngeren Hobby-Elektroniker wird es interessieren, warum sie aufgestellt werden konnte. Zur Erläuterung müssen wir etwas ausholen und auf eine Zeit zurückblicken, die zwar nur wenige Jahre hinter uns liegt, aber für die Elektronik heute beinahe schon „Steinzeit" ist. Wir können dann auch erklären, warum man immer wieder Brückengleichrichterschaltungen mit vier Dioden verwendet, wobei man doch auch mit einer einzigen Diode, als Einweg-Gleichrichter geschaltet, aus einer Wechselspannung schon eine Gleichspannung erhalten kann. In dieser – elektronisch längst vergangenen – Zeit gab es noch keine Dioden und andere Halbleiter, sondern nur die Elektronenröhre. Zur Gleichrichtung einer Wechselspannung wurde eine Gleichrichterröhre verwendet, die wie eine Diode aus Anode und Kathode be-

stand und das gleiche Ergebnis brachte. Es kam also auch hier nur die Plushalbwelle einer Wechselspannung von der Anode zur Kathode durch, und die Minushalbwelle wurde „abgeschnitten". *Bild 4a* zeigt dieses Prinzip der Einweggleichrichtung mit einer Röhre und außerdem noch die Siebstrecke, die aus zwei Elkos und einer sogenannten Drossel bestand. Die Drossel, die oft die gleiche Größe hatte wie der hier verwendete Transformator, war notwendig, um den letzten Rest an Welligkeit zu beseitigen. Man sprach dabei von „Dämpfung", die nötig war, um einen reinen Gleichstrom zu erhalten. Die Entwicklung ging auch bei der Röhre zur Doppelgleichrichtung, die in *Bild 4b* gezeigt ist. Dabei verminderte sich die Restwelligkeit, und die Drosseln konnten kleiner ausgelegt werden bzw. waren durch hochbelastbare Widerstände ersetzbar. Dennoch waren diese Netzteile aufwendig und nahmen in einem Gehäuse einen sehr großen Platz ein. Sie waren anfällig für Netzbrummen und mußten daher meist abgeschirmt werden, und sie heizten sich außerdem ganz schön auf. Deshalb war diese Gleichrichterröhre eines der ersten Bauteile, das man durch Halbleiter, also in diesem Fall

Bild 4a: Einweg-Gleichrichtung alten Stils mit Elektronenröhre.

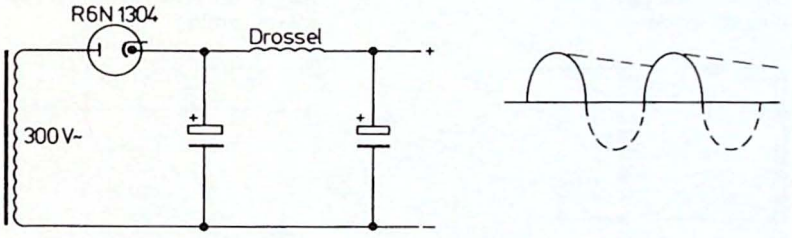
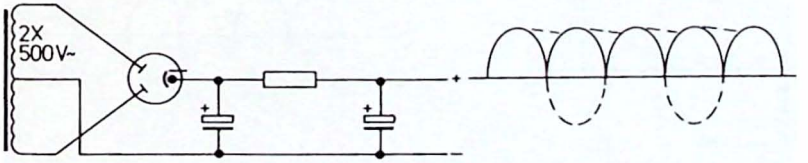


Bild 4b: Doppelweg-Gleichrichtung mit Elektronenröhre.



Dioden, ersetzte. Die ersten Halbleitergleichrichter waren noch verhältnismäßig große Gebilde. Sie bestanden aus einer Plattenkombination und hießen nach dem verwendeten Halbleitermaterial Selengleichrichter. Sie waren außerdem teurer als eine Gleichrichterröhre. Daher hat man noch lange die Einweggleichrichtung mit der umständlichen Siebkette beibehalten. Erst als die Dioden billiger wurden, wurde wieder die Doppelgleichrichtung mit vier Dioden in einer Brückenschaltung verwendet. Da auch die anderen Röhren in einem Gerät mehr und mehr durch Transistoren verdrängt wurden, entfielen die bisher notwendigen hohen Spannungen zwischen 200 und 450 Volt, und man kam mit einigen wenigen Volt Spannung aus. Da heute der Spannungs- bzw. Strombedarf einer elektronischen Schaltung sehr gering ist, werden auch die Netzteile immer kleiner, und die Gleichrichterröhre hat ihre Bedeutung völlig verloren, genauso wie eine andere Röhre, die in den vierziger und fünfziger Jahren noch eine Sensation war, nämlich das magische Auge, das heute durch andere Anzeigemöglichkeiten völlig verdrängt worden ist. Doch zurück zur Gleichrichtung. *Bild 5a* zeigt eine Einweg-Gleichrichtung mit einer Diode und der notwendigen Siebstrecke. In *Bild 5b* ist zu sehen, wie aus der Sinuswelle nach Durchlaufen der Siebstrecke eine Gleich-

Bild 5a: Einweggleichrichtung mit Diode.

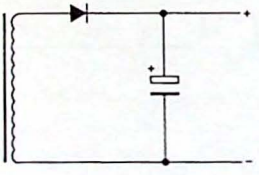


Bild 5b: Die Wirkung der Einweggleichrichtung.

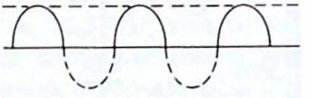


Bild 6a: Doppelweggleichrichtung mit 2 Dioden.

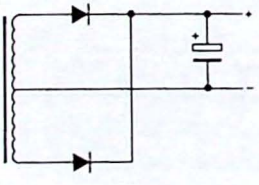
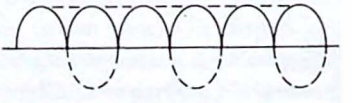


Bild 6b: Die Wirkung der Doppelweggleichrichtung.



spannung entsteht. Analog zur Doppelgleichrichterröhre wurde zunächst die Doppelweggleichrichtung mit nur zwei Dioden vorgenommen. *Bild 6a* und *6b* zeigen diese Schaltung und die Umformung der Wechselspannung. Es mußte bei dieser Methode derselbe Nachteil wie bei der Röhre in Kauf genommen werden, nämlich die Notwendigkeit eines Transformators mit Mittenanzapfung. Bei der Brückengleichrichtung aus vier Dioden entfällt diese Anzapfung, wie *Bild 7* zeigt. *Bild 8* zeigt noch einmal die Wirkung des Elektrolytkondensators in einer Gleichrichterschaltung. Die Glättung der pulsierenden Gleichspannung erfolgt nicht etwa so, daß die Spannungsspitzen gekappt würden, sondern genau umgekehrt, nämlich so, daß der Kondensator die kurzfristigen Spannungsabfälle und Spannungsanstiege am Ende bzw. am Beginn eines neuen Pulses überbrückt. Der Wert der kondensator-geglätteten Gleichspannung entspricht somit dem Scheitelwert der pulsierenden Gleichspannung. Kehren wir zurück zu unserem Ausgangspunkt, nämlich der Berechnung der Gleichspannung bei Gleichrichtung von 12 Volt Wechselspannung mit Hilfe einer Diodenbrücke und eines Kondensators. Aus 12 Volt Effektiv-Wechselspannung wird eine Gleichspannung, die dem Maximalspannungswert der Wechselspannung

Bild 7: Der Lauf des Stromes bei der Brückengleichrichtung.

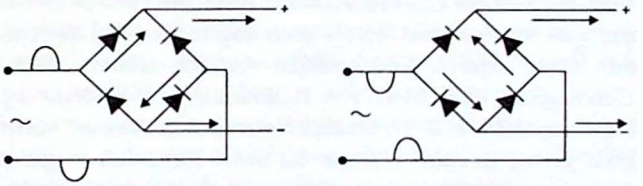
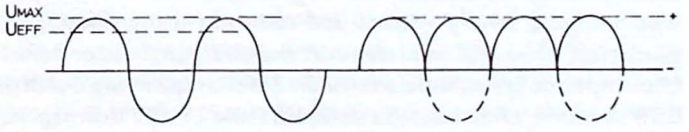


Bild 8: Die Umwandlung von V_{eff} in V_{max} mit Kondensator nach der Gleichrichtung.



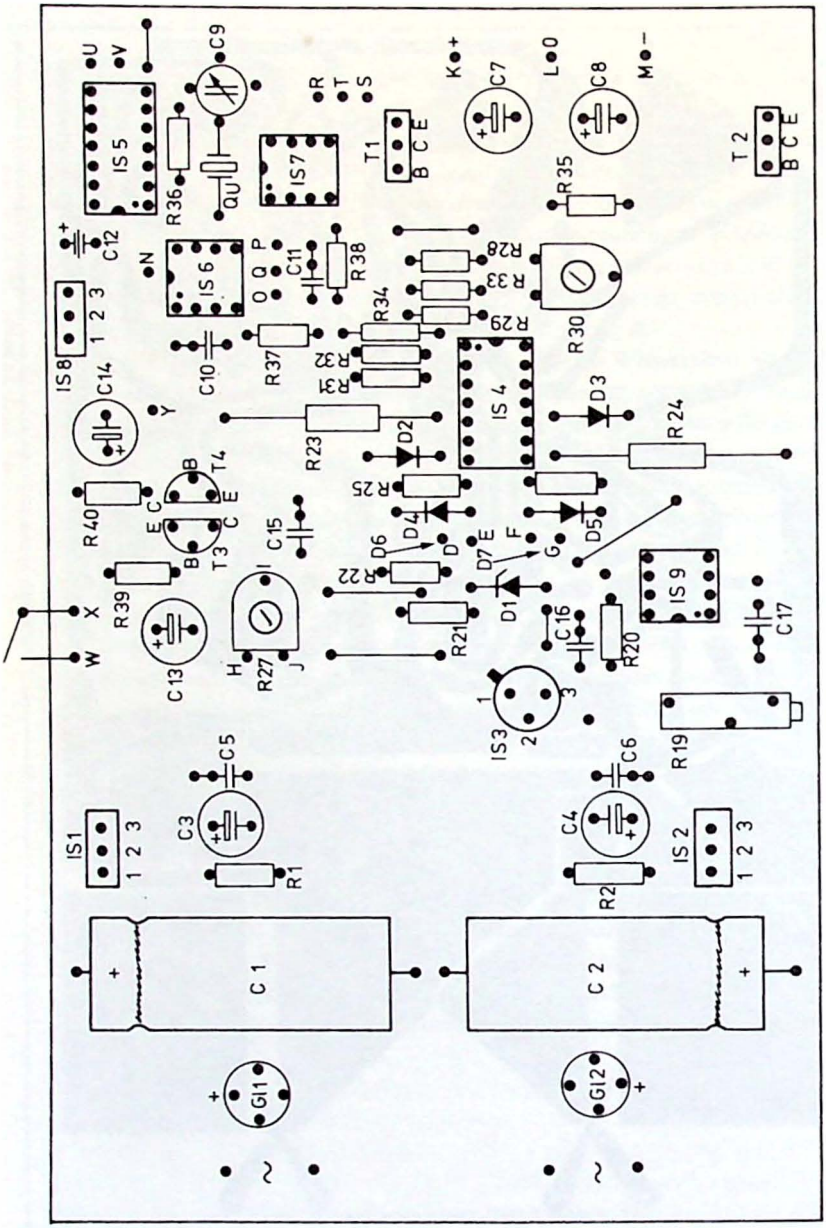
größenmäßig entspricht oder nach den eingangs erwähnten Formeln gerechnet, 12 Volt effektiv mal 1,4 = 16,8 Volt Maximalspannung ergibt, ein Wert, der unserer Gleichspannung entsprechen sollte. Diese Zahl müßte auch durch Division des Kehrwertes von 1,4 erhalten werden: Wenn wir jedoch 12 Volt : 0,7 rechnen, so erhalten wir 17,14 Volt Maximalspannung! Dies alles scheint zu verwirren, denn nun haben wir schon drei Werte, den „behaupteten" Wert von 16,270562 und die zuletzt errechneten 16,8 bzw. 17,14 Volt. Was stimmt denn nun wirklich? Rechnet man genauer und verwendet mehr Dezimalstellen, d. h. benützt die Zahlen 1,414 oder 0,707, so erhält man schon zwei näher beieinanderliegende Werte, nämlich 16,968 und 16,973. Der Unterschied zwischen diesen beiden Werten ist also nur darauf zurückzuführen, daß man eine stark gekürzte Form des Ausdrucks $\sqrt{2}$ verwendet hat. Würden wir die $\sqrt{2}$ als 1,4142135 und ihren Kehrwert als 0,7071067 verwenden, so würden sich die Ergebnisse unserer beiden Rechenoperationen erst in der sechsten Stelle hinter dem Komma unterscheiden. Wie löst sich aber nun das zweite Rätsel bzw. wie erklärt sich die behauptete Zahl 16,270562? Die Differenz zu dem oben errechneten Betrag ergibt sich aus einem Spannungsabfall, der bei dieser Schaltungsart auftreten muß. Er entsteht an den Dioden, die eine sogenannte Schleusenspannung haben, eine Spannung, die man also als verloren aufbringen muß, um einen Durchgang zu bekommen. Dieser Spannungsabfall beträgt 0,7 Volt, der von der Zahl 16,9700562 (errechnet mit $\sqrt{2}$ = 1,4142135) abgezogen werden muß. Es sei noch angemerkt, daß auch diese Rechnung nur unter idealen Bedingungen wirklich stimmt. Zum einen ist die Genauigkeit der Diode von Bedeutung (die Schleusenspannung kann zwischen 0,3 und 0,8 Volt differieren), zum anderen muß auch der Elko groß genug gewählt werden. Ist seine Kapazität zu gering, wird keine vollkommene Glättung erreicht, d. h. die Lücken zwischen den Gleichspannungspulsen können nicht vollständig aufgefüllt werden, und es bleiben noch kleine „Täler" zurück, wie in *Bild 8* zu sehen. Bei einer solchen welligen Gleichspannung kann dann natürlich der Effektivwert nicht mehr mit dem Maximalwert gleichgesetzt werden. In der Industrie wird übrigens häufig gespart und nicht mit den größtmöglichen Elkos gearbeitet. Deshalb hat es sich dort eingebürgert, bei der Berechnung des Gleichspannungsmaximalwertes die Effektivspannung durch den Faktor 0,79 zu teilen. Dies würde in unserem Falle 15,189 Volt ergeben.

Unsere Berechnungen waren nun nicht etwa nur lehrreiche Zahlenspiele, sondern haben einen ganz triftigen Grund. Die Gleichspannung soll ja nach Gleichrichtung und Siebung mit einer IS stabilisiert werden, d. h. sie soll auch unter Belastung konstant bleiben. Diese IS benötigt aber eine Mindestspannung am Eingang, und die beträgt bei der verwendeten IS 7815 17,5 Volt. Die Bezeichnung 7815 besagt übrigens, daß es sich um einen Plusspannungsregler (Typen-Nr. 78) für 15 Volt handelt; die entsprechende Komplementärtype heißt 7915, wobei die Typenbezeichnung 79 den Minusspannungsregler bezeichnet. Bei Verwendung eines 12-Volt-Trafos liegen wir also mit unseren rund 16,7 Volt unter der Mindesteingangsspannung. Ein Nachteil entsteht uns erfreulicherweise nur dann, wenn wir das Doppelnetzteil voll mit fast 1 Ampere belasten wollen. Bei dieser Maximalbelastung regelt dann die integrierte Schaltung nicht mehr voll durch, und die Spannung rutscht unter 15 Volt ab. Ein 12-Volt-Trafo kann also nur dann verwendet werden, wenn man weniger als 1 Ampere an Strom entnimmt bzw. einen Spannungsabfall bei Vollbelastung in Kauf nimmt. Nun hat der Spannungsregler auch eine Höchst-Eingangsspannung, die bei 23 Volt liegt. Verwenden wir einen Trafo, der 15 Volt sekundär liefert, so erhalten wir nach Gleichrichtung und Glättung 21,21 Volt und liegen damit genau richtig. Benützen wir dagegen einen Trafo, der 18 Volt sekundär liefert, so landen wir bei einer gleichgerichteten Spannung von 25,455 Volt. Dies liegt zwar über der Höchst-Eingangsspannung, ist aber gerade noch zulässig, da die integrierte Schaltung mit bis zu 35 Volt belastet werden kann, wenn, und dies wird nun sehr wichtig, für ausreichende Kühlung gesorgt ist. Da sich also die Kühlfläche erheblich vergrößern würde und damit ein immer größeres Gehäuse notwendig machen würde, ist es nicht sinnvoll, einen Trafo zu verwenden, der mehr als 18 Volt sekundär abgibt. Über den Einfluß der Kapazität des Elektrolytkondensators wurde bereits kurz gesprochen. Es ist aber nicht nur die Kapazität von Bedeutung, sondern auch die Spannungsfestigkeit des verwendeten Elkos. Üblich für Glättungs-Elkos sind Werte zwischen 470 µF und etwa 10 000 µF. Die Unterschiede ergeben sich zwar auch durch die verschiedene Verwendung eines Netzteils, hauptsächlich aber ist für die Wahl des Glättungs-Elkos der Preis ausschlaggebend, denn große Elkos mit 10 000 µF sind schon ziemlich teuer, und bei einer industriellen Kalkulation muß mit dem Pfennig gerechnet werden. Auch der Raumbedarf einer Schaltung spielt

eine gewisse Rolle, so daß man häufig auch aufgrund der Gehäusegröße und der erzielbaren Schaltungsabmessungen einen kleineren Elko, der dann auch eine geringere Kapazität hat, einem größeren vorzieht. In bezug auf die Spannungsfestigkeit genügt es, wenn man mit einer 20%igen Sicherheits-Marge arbeitet, in unserem Falle also bei rund 21 Volt Höchstspannung einen 25-Volt-Elko entsprechender Kapazität wählt. Abschließend sei noch angemerkt, daß die Kapazität von 2 200 µF der in unserer Schaltung verwendeten Elkos vollauf genügt, zumal allen Baugruppen noch Spannungsregler nachgeschaltet sind.
Das nächste Bauteil ist der Widerstand R1. Dieser Widerstand ist der Lastwiderstand des Elkos und bewirkt seine Entladung, sobald das Gerät ausgeschaltet wird. Er ist notwendig, da Elkos ihre Ladung über längere Zeit halten können und dies zu unkontrollierbaren Überschlägen innerhalb der Schaltung führen und eine Zerstörung von Bauteilen bewirken kann. Über den Festspannungsregler haben wir schon gesprochen. Er liefert uns also eine Spannung von ziemlich genau 15 Volt bei Differenzen (zwischen zwei verschiedenen IS) von ca. 3 %. Daß man zur Sicherheit ein kleines Kühlblech auf die Spannungsregler schraubt, wurde bereits eingangs erwähnt. Auf die Regler folgen noch einmal zwei Kondensatoren. Für C3 sollte ein Tantalelko verwendet werden, denn diese Elkos bremsen eine hohe Frequenz wirkungsvoller als normale Elkos und verhindern somit, daß ein Netzteil zum Schwingen kommt. C3 glättet die stabilisierte Gleichspannung nochmals und beseitigt damit „Unebenheiten" der Spannungsregler, die unter Belastung auftreten können. Wird für C3 kein Tantalelko verwendet, so muß unbedingt der Kondensator C5 eingesetzt werden, der sonst entfallen kann. Der zweite Zweig unseres Netzteils ist nach den gleichen Gesichtspunkten aufgebaut wie der Pluszweig. Nach den Spannungsreglern wird die Minusleitung des oberen Stromzweiges und die Plusleitung des unteren zusammengeführt, die nun die Bezugsbasis bildet für plus 15 Volt bzw. minus 15 Volt. Zwischen diesen beiden Endpunkten kann dann logischerweise 30 Volt gemessen werden.

Bild 9: Ätzplan der Platine des Meßwertgebers (siehe auch S. 117).

100 mm
160 mm


IS 5
IS 6
IS 7
IS 8
IS 4
IS 9
IS 1
IS 2
IS 3
T1
T2
T3
T4
C 1
C 2
C3
C4
C5
C6
C7
C8
C9
C10
C11
C12
C13
C14
C15
C16
C17
R1
R2
R19
R20
R21
R22
R23
R24
R25
R27
R28
R29
R30
R31
R32
R33
R34
R35
R36
R37
R38
R39
R40
D1
D2
D3
D4
D5
D6
D7
QU
U
V
N
O
Q
P
R
T
S
K +
L 0
M −
X
W
Y
H
I
J
E
F
G
B
C
1 2 3

3.1 Aufbau des Netzteils

Die *Bilder 9* und *10* zeigen den Ätz- bzw. den Bestückungsplan der Platine, die auch das Netzteil enthält. Die zum Netzteil gehörenden Bauteile sind auf dem Bestückungsplan auf der linken Seite verzeichnet. Wir suchen sie uns aus der Stückliste heraus und beginnen mit der Bestückung. Beim Bestücken weichen wir diesmal von der üblichen Reihenfolge ab und setzen zuerst die Lötnägel ein. Darauf folgen die Gleichrichter und die Elkos C1 und C2. Hier ist besonders auf die Polung zu achten. Diese vier Bauteile werden dann eingelötet und anschließend der Trafo provisorisch angeschlossen. Wir messen die Spannung über den Elkos nach und vergleichen mit den errechneten Werten. Dann folgen die restlichen Bauteile. IS 1 und IS 2 sitzen in der gleichen Richtung auf der Platine, C3 und C4 in einander entgegengesetzter Richtung. Die IS 2 ist etwas weiter zur Mitte der Platine eingerückt. Das ist beabsichtigt, um die U-förmigen Kühlbleche anschrauben zu können, denn das Kühlblech der unteren IS soll ja nicht über den Rand der Platine hinausragen. Nun schließen wir wieder den Trafo mit seinen zwei Wicklungen an und prüfen die Spannungen über C5 und C6. Hier müßten nun eigentlich ziemlich genau jeweils 15 Volt gemessen werden können, vorausgesetzt, daß das Meßgerät in Ordnung ist. Jetzt können auch die 30 Volt über beiden Kondensatoren gemessen werden, da durch die Leiterbahnführung auf der Platine die Verbindung zwischen den beiden Teilen hergestellt ist. Als nächste Baugruppe kommt der Kalibrator dran. Mit diesem können wir ein vorhandenes Meßgerät genau einstellen, so daß spätere Messungen exakter werden.

Stückliste Meßwertgeber

1	Transformator 2 x 15 Volt / 1 Ampere
GL 1, 2	2 Brückengleichrichter rund, B 80 C 1500
IS 1, 2	2 Festspannungsregler für 15 Volt, 7815
IS 3	Festspannungsregler LH 0070
IS 4	Vierfach-Operationsverstärker LM 324 *(Forts. S. 26)*

Bild 10: Bestückungsplan zu Bild 9.

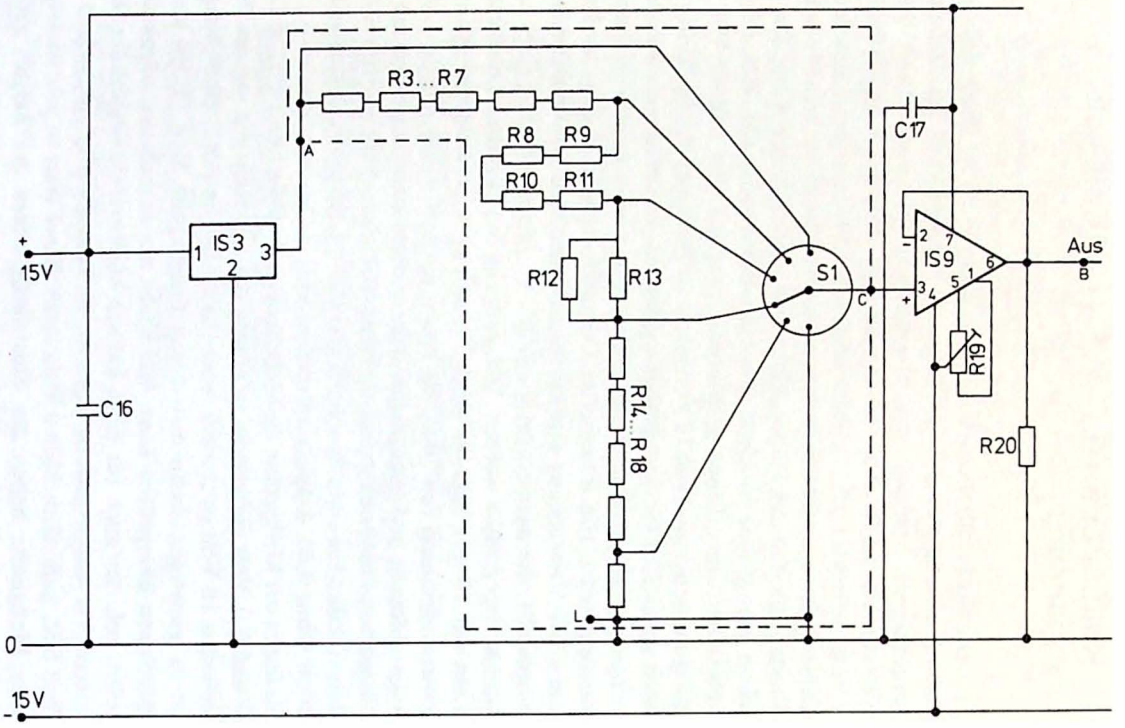
IS 5	Vierfach NAND in CMOS, CD 4011, oder Vierfach NAND-Schmitttrigger, CD 4093, letzterer ist vorzuziehen
IS 6, 7	2 integrierte Schaltungen, Teiler durch 10, 100, 1000, SAJ 141
IS 8	Festspannungsregler für 5 Volt, 7805
IS 9	Operationsverstärker, LM 13741 oder LF 355/356/357
T1	NPN-Darlingtontransistor BD 675, Ersatz BD 561
T2	PNP-Darlingtontransistor BD 677, Ersatz BD 562
T3, 4	2 NPN-Transistoren BC 547
D1	Z-Diode 6,8 Volt/400 mW
D2 – 5	4 Siliziumdioden 1 N 4148 oder 1 N 914 o. ä.
D6, 7	2 LED rot mit Fassung
R1, 2	2 Widerstände 2,2 kΩ
R3 – 13	11 Widerstände 1 kΩ/Toleranz 1 %
R14 – 18	5 Widerstände 100 Ω/Toleranz 1 %
R19	Wendeltrimmwiderstand 10 kΩ
R20, 22	2 Widerstände 10 kΩ
R29, 32	2 Widerstände 10 kΩ
R21	Widerstand 1 kΩ
R23, 24	2 Widerstände 0,56 Ω/5 Watt
R25, 26	2 Widerstände 470 Ω
R27	Trimmwiderstand oder Potentiometer 220 Ω lin.
R28	Widerstand 8,2 kΩ
R30	Widerstand (Trimmer) 4,7 kΩ
R31, 33	2 Widerstände 6,8 kΩ
R34, 39	2 Widerstände 56 kΩ (eventuell für R34 – 68 kΩ)
R35	Widerstand 33 kΩ
R36	Widerstand 1 MΩ
R37, 38	2 Widerstände 120 kΩ
R40	Widerstand 5,6 kΩ
	Falls nicht anders angegeben, alle Widerstände mit 5 % Toleranz.
C1, 2	2 Elektrolytkondensatoren 2200 µF/25 V
C3, 4	2 Elektrolytkondensatoren 10 µF/25 V, besser Tantal 10 µF/16 V
C5, 6	2 Kondensatoren 0,15 µF, nur einsetzen, wenn für C3, 4 keine Tantal genommen wurden, können sonst entfallen.
C7, 8	2 Elektrolytkondensatoren 100 µF/25 V
C9	Kondensatortrimmer 3 – 25 pF
C10, 11	2 Kondensatoren 0,33 µF
C12	Tantalelektrolytkondensator 10 µF/10 V
C13	Elektrolytkondensator 22 µF/16 V
C14	Elektrolytkondensator 2,2 µF/16 V
C15 – 17	3 Kondensatoren 150 nF
2	LORLIN-Drehschalter, 1 x 12 Stellungen
1	Kippschalter EIN
QU	1 Quarz 1 MHz
1	Platine 160 x 100 mm
1	Platine 40 x 45 mm
Lötnägel	
Kühlkörper, wenn nötig	
Drehknöpfe	
Buchsen	
2	Meßinstrumente 0 – 15 oder 30 Volt, wenn gewünscht

4. Kalibrator für 0,1 – 0,5 – 1 – 5 – 10 Volt-Festspannung

Den Schaltplan für dieses Gerät zeigt *Bild 11*. Die Schaltung sieht relativ einfach aus, ist jedoch in der Lage, bei richtiger Wahl der Bauteile und sorgfältigem Abgleich eine konstante Spannung zu liefern, die um weniger als 0,1 % Abweichung aufweist. Das sind beispielsweise bei 1 Volt nur noch 1 mV Toleranz und bei 0,1 Volt nur noch 1 Zehntel mV. Diese Präzision wird nur noch von Meßgeräten der höheren Preisklassen übertroffen. Für den Hobby-Elektroniker sind es stolze Werte. Das Herz dieser Baugruppe ist die IS 3 mit der Bezeichnung LH 0070. Diese IS liefert bei einer Eingangsspannung zwischen 12,5 und 40 Volt eine Ausgangsspannung von 10 Volt mit einer Toleranz von 0,03 %. Die IS ist nach speziellen Gesichtspunkten gefertigt. Sie enthält eine besondere, temperaturstabilisierte Zenerdiode, die mit einer Konstantstromquelle versorgt wird. Ein integrierter Operationsverstärker dient als Pufferstufe. Die Verstärkung wird mit hochstabilen Metallschichtwiderständen eingestellt, die nach einem speziellen Verfahren mit Hilfe eines Laserstrahls abgeglichen werden. Der Ausgang der IS ist kurzschlußfest und kann mit 10 mA belastet werden. Somit können Meßgeräte mit einem Innenwiderstand von 10 kOhm und sogar noch solche mit nur 1 kOhm angeschlossen und abgeglichen werden. Eine kleine Rechnung mit dem Ohmschen Gesetz zeigt uns, daß diese Behauptung stimmt: Ist I = U/R, dann fließen bei einer Spannung von 10 Volt und einem Widerstand von 1000 Ohm 0,01 Ampere entsprechend 10 mA.

Besitzen wir Meßgeräte, die Meßbereiche zwischen 0 und 3, 0 und 1 bzw. 0 und 0,3 Volt aufweisen, so nützen uns allerdings die von der IS gelieferten 10 Volt gar nichts. Auch beim Abgleich von Digitalvoltmetern ist es günstiger, wenn man deren Genauigkeit auch in den kleinen Bereichen überprüfen kann. Wir bauen uns deshalb einen Spannungsteiler auf, der auch für diese kleinen Meßbereiche brauchbare Werte liefert. Als Ausgangswerte legen wir die Voltzahlen 0,1 – 0,5 – 1 – 5 – 10 Volt fest, außerdem noch 0 Volt. Auch dieser Wert ist sehr wichtig, da gute Meßgeräte neben der Einstellmöglichkeit des Zeigers auf den genauen Endwert oder auf Zwischenwerte auch eine Einstellmöglichkeit für die Nullstellung haben. Bei einer derartigen Einstellung muß man

Bild 11: Schaltplan des Kalibrators.



unterscheiden zwischen dem rein mechanischen Zeigernullpunkt und der Anzeige bei angelegten 0 Volt. Der mechanische Zeigernullpunkt wird meistens mit einer kleinen Schraube einreguliert. Außerdem ist dann noch ein Drehknopf oder eine Rändelschraube vorhanden, womit die elektrische Nullpunkteinstellung bei angelegtem Potential „0" erfolgt. Letzteres ist gar nicht so einfach zu bekommen, denn viele Netzgeräte lassen sich nicht bis auf 0 Volt herunterregeln, und auch Prospektangaben wie „Netzgerät von 0 – 30 Volt regelbar" sind oft mit Vorsicht zu genießen. Liest man nämlich die Gebrauchsanleitung zu einem solchen Netzgerät genau durch, so stellt man häufig fest, daß das Gerät nur zwischen 3 und 30 Volt zu regeln ist. Dies ist nicht zwangsläufig eine Wertminderung des Gerätes, und der Grund für dieses Verhalten ist schnell erklärt: Regelbare, stabilisierte Netzgeräte müssen eine Referenzspannung erzeugen, zu der eine Zenerdiode verwendet wird. Aus Stabilitätsgründen kann diese Zenerdiode nicht kleiner als für 2,7 Volt ausgelegt werden, und damit liegt dann auch schon der untere Volt-Wert des Netzgerätes fest. Nur durch aufwendige zusätzliche Maßnahmen, wie z. B. die Verlegung des Fußpunktes der Zenerdiode auf eine negative Hilfsspannung, kann ein Netzgerät tatsächlich bis auf 0 Volt heruntergeregelt werden. Eine andere Möglichkeit bietet die Verwendung spezieller integrierter Schaltungen, wie z. B. der LM 324, die wir auch auf unserer Platine verwenden werden. Die Widerstandswerte der Spannungsteilerkette können auf ganz einfache Weise errechnet werden, wie in *Bild 12b* verdeutlicht. Wird z. B. (siehe *Bild 12a)* an einem Spannungsausgang ein Widerstand von beispielsweise 1 kOhm angeschlossen, so messen wir bei

Bild 12a: Meßpunkte an einem Lastwiderstand.

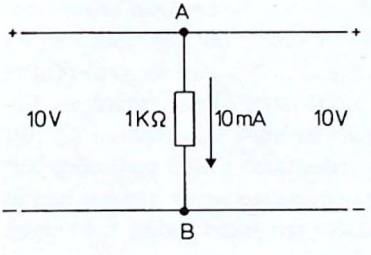
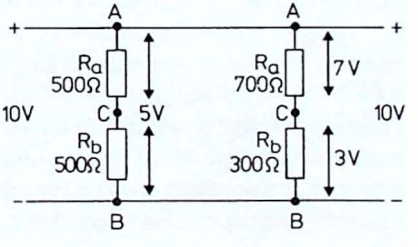


Bild 12b: Meßpunkte bei einer Spannungsteilung mit Widerständen.



10 Volt, die an den Punkten A und B anliegen, einen Strom von 10 mA. Unterteilen wir den Widerstand in 2 x 500 Ohm, so fließen immer noch 10 mA, und an den Punkten A und B messen wir auch immer noch 10 Volt. Nicht aber an Punkt C, denn hier ergibt die Messung eine exakte Teilung der Spannung in je 5 Volt, unabhängig davon, ob wir gegen Plus oder Minus messen. Setzen wir dagegen für Ra einen Wert von 700 Ohm und für Rb 300 Ohm ein, dann können wir an Punkt C zwei verschiedene Werte messen: 3 Volt gegen Minus und 7 Volt gegen Plus. Die Spannungsteilung erfolgt also immer im Verhältnis der Widerstandswerte zueinander. Rechnerisch exakt wird diese Tatsache durch die zweite Kirchhoffsche Regel ausgedrückt. Sie besagt, daß in einem Stromkreis die Summe aller Spannungsabfälle gleich der Gesamtspannung ist. Formelmäßig ausgedrückt:

$$U_{aus} = \frac{U_{ein} \cdot R_b}{R_a + R_b} \cdot$$

Setzen wir unsere Werte ein, so erhalten wir

$$\frac{10 \cdot 300}{700 + 300} = 3 \text{ Volt.}$$

Aber auch ohne Hinzuziehen eines Taschenrechners ersehen wir schnell, daß man, um einen Ausgang von 0,1 Volt zu erhalten, für Ra den Wert 9,9 und für Rb den Wert 0,1 nehmen muß. Für 0,5 Volt Ausgang verändern sich die Werte entsprechend auf 9,5 und 0,5. Wählen wir für die Teilerkette einen Gesamtwiderstand von 10 kOhm – dieser Wert ist wegen der geringen Belastung der integrierten Schaltung von nur 1 mA günstig –, ergeben sich von Minus aus gesehen die einzelnen Widerstandswerte gleich denen der gewünschten Spannungswerte, nämlich 0,1 kOhm – 0,5 kOhm – 1 kOhm – 5 kOhm und dann noch einmal 5 kOhm. In der Theorie läßt sich ein Spannungsteiler leicht herstellen, nicht jedoch in der Praxis, da alle Widerstände Toleranzen aufweisen. Die billigsten Widerstände haben 20 % Toleranz, die gebräuchlichsten zwischen 10 und 5 %, die teureren 2 % oder gar 1 % und die ganz teuren 0,01 %. Die zuletzt genannten sind im Handel nicht einfach zu bekommen, sie sind teuer und für unsere Zwecke auch nicht notwendig. Wir verwenden 1%ige Widerstände und werden sehen, daß man auch mit diesen durchaus noch exakte Spannungsteilungen erreichen kann. Ein weiteres Praxisproblem liegt darin, daß man nicht jeden beliebigen

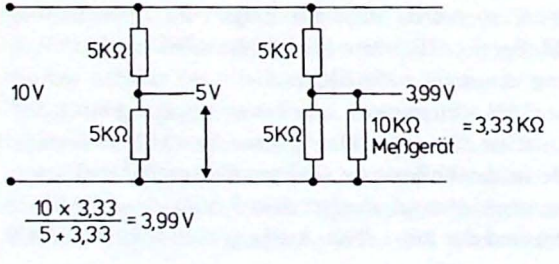
Widerstandswert kaufen kann, sondern sich nach dem Schnitt der DIN-Reihen richten muß. Wir müssen uns also Werte wie 400 Ohm, 500 Ohm, 4 und 5 kOhm aus anderen Widerstandswerten bilden und verwenden dazu ausschließlich Widerstände mit 100 Ohm und 1 kOhm. 4 x 100 Ohm und 4 x 1 kOhm, in Reihe geschaltet, ergeben 400 Ohm bzw. 4 kOhm; 5 x 1 kOhm in Reihe ergeben 5 kOhm, und 2 x 1 kOhm parallelgeschaltet liefern 500 Ohm. *Bild 11* zeigt noch einmal diese Aufteilung an den Widerständen R3 bis R18. Wie sieht es nun mit den Toleranzen bei Reihenschaltungen von Einzelwiderständen aus? Nun, im schlimmsten Fall muß man mit der höchstmöglichen Toleranz von 1 % rechnen. Haben z. B. alle Widerstände, die bei der Kette 4 x 100 Ohm verwendet werden, dieselbe maximale Negativtoleranz von minus 1 %, so hat auch die Kette von 400 Ohm eine Abweichung von 4 Ohm, also um 1 %. In der Praxis zeigt sich, daß dieses Verhalten selten auftritt und daß sich die Plus- und Minustoleranzen der Einzelwiderstände vorteilhaft zu einem geringeren Gesamttoleranzwert ergänzen. Nehmen wir an, ein 100-Ohm-Widerstand hätte die maximale negative Abweichung von 1 Ohm, würde also in Wirklichkeit 99 Ohm Widerstandswert aufweisen, und der andere hätte die maximale Plustoleranz von 101 Ohm, so ergibt die Reihenschaltung einen exakten Wert von 200 Ohm. Aus rein praktischer Erfahrung heraus kann man also sagen, daß man bei solchen Widerstandskombinationen häufig bessere Toleranzwerte erreicht als bei der Verwendung von Einzelwiderständen. So ergaben Messungen bei einem der für das vorliegende Buch angefertigten Mustergeräte Spitzenwerte von 0,05 % Toleranz, die Durchschnittstoleranzen lagen bei 0,1 %; das sind nun wirklich Werte, die dem Hobby-Elektroniker voll ausreichen.
Die Ausgänge der Teilerkette werden zu einem Drehschalter (SCH 1) geführt, mit dem die einzelnen Spannungswerte dann auf den Ausgang geschaltet werden können. Würde man jetzt an den Ausgang sofort ein Meßgerät anschließen, so würde man allerdings eine Überraschung erleben. Hätte das Meßgerät z. B. einen Innenwiderstand von 10 kOhm, wäre also doch schon ein recht ordentliches Gerät, so würden wir am 5-Volt-Ausgang nur 3,99 Volt messen, am 1-Volt-Ausgang nur 0,917 Volt. *Bild 13* zeigt, warum dies so ist. Der Innenwiderstand des Gerätes und die Widerstände in der Teilerkette sind parallelgeschaltet. Es entsteht ein neuer Gesamtwiderstand, der bei dem 5-Volt-Ausgang einen Wert von 3,33 kOhm und der am 1-Volt-Ausgang einen Wert von 909

Ohm hat. Es liegt also eine Fehlmessung mit Abweichungen zwischen 15 und 35 % vor! Zur Erinnerung nochmals die Formel zur Berechnung zweier parallelgeschalteter Widerstände:

$$R_{ges} = \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2} .$$

Setzen wir darin für R1 5000 Ohm ein, denn das ist der Widerstandswert, der vom Minuspunkt der Teilerkette bis zum 5-Volt-Ausgang anliegt, und den Gerätewiderstand von 10000 Ohm, so erhalten wir 5000 x 10000 : 5000 + 10000 = 3333, also 3,33 kOhm. *Bild 13* zeigt außerdem noch, wie dieser Widerstandswert, in der Kirchhoffschen Regel eingesetzt, eine Spannung von 3,999 Volt ergibt. Selbst bei einem Meßinstrument, das einen Innenwiderstand von 10 MOhm hat, ergibt sich noch ein Gesamtwiderstand von 4779,5 Ohm und damit eine Spannungsmessung von 4,9987 anstelle von 5 Volt. Allerdings ist diese Abweichung von 0,026 % tragbar. Durch einen elektronischen Kniff kann man erreichen, daß die Belastung der Teilerkette so weit reduziert wird, daß ihre Abweichung vom Sollwert erst in der dritten oder vierten Dezimale hinter dem Komma auftritt. Man schaltet dazu einen Pufferverstärker hinter die Kette. Dieser Pufferverstärker ist die integrierte Schaltung Nr. 9, ein Operationsverstärker LM 13741. Hinter dieser Bezeichnung verbirgt sich die weitverbreitete und bestimmt bestens bekannte Type 741. Die Zahl 13, die dieser Bezeichnung vorangestellt wurde, besagt, daß dem 741 eine FET-Stufe vorangeschaltet ist. Diese FET-Stufe bewirkt einen sehr hohen Eingangswiderstand. In *Bild 14* sind drei Operationsverstärker abgebildet, und zwar der 741, der 13741 und der LF 355/56/57.

Bild 13: Verfälschung der Werte des Spannungsteilers durch ein Meßinstrument.



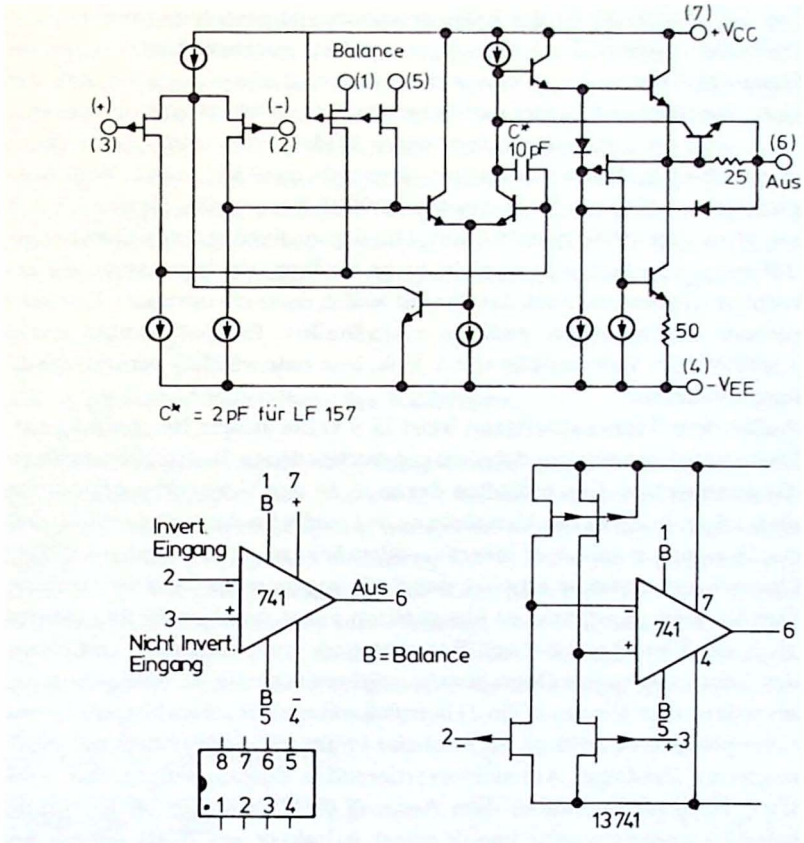


Bild 14: Schaltbilder der Operationsverstärker 741, 13741 und LF 356.

Alle drei OP sind pinkompatibel und können in den meisten Schaltungen gegeneinander ausgetauscht werden. Allerdings nicht bei uns; wir können den 741 nicht verwenden! Nach dem Datenblatt hat dieser nämlich einen Eingangswiderstand von 3 MOhm mit Toleranzen von bis zu 500 kOhm. Damit liegt sowohl der Absolutwert in einem unerwünschten Bereich als auch die Toleranz in einer nicht erwünschten Größenordnung. Der 13741 hat dagegen einen Eingangswiderstand von 5×10^{11} Ohm, das sind 500 GOhm, also eine Fünf mit elf Nullen! Beim

Typ LF 355/56/57 ist der Eingangswiderstand noch höher und beträgt 10^{12} Ohm, also ein Tera-Ohm oder eine Eins mit zwölf Nullen. Extreme Genauigkeitsfanatiker könnten hier zwar zu Recht einwenden, daß der Gesamtwiderstand zweier parallelgeschalteter Widerstände immer noch kleiner ist als der kleinste der beiden Widerstände, und hätten damit natürlich recht. Nur wird dies hier illusorisch, da sich für den 5-Volt-Ausgang beim 13741 ein Wert von 4999,99995 Ohm ergibt, für den LF 355 ein Wert von 4999,999975 Ohm. Die daraus resultierende Spannungsdifferenz zum Sollwert ist nicht mehr meßbar und kann nur noch errechnet werden und auch das nur mit Mühe, denn ein normaler Taschenrechner hat meist gar nicht so viele Stellen. Es sind nämlich exakt 4,999999975 Volt anstelle von 5 Volt, also eine wirklich vernachlässigbare Differenz!

Außer dem Trimmwiderstand weist IS 9 keine äußere Beschaltung auf. Diese sonst in anderen Schaltungen vorhandenen Bauteile bestimmen die gewünschten Eigenschaften der IS, z. B. den Verstärkungsfaktor. In dieser Schaltung ist die Verstärkung = 1 und wird dadurch erreicht, daß der Ausgang 6 mit dem invertierenden Eingang 2 verbunden ist. Der Operationsverstärker arbeitet damit als sogenannter Spannungsfolger. Der Verstärkungsfaktor ist übrigens um einen winzigen Betrag kleiner als 1, der hier aber nicht von Bedeutung ist. Zum besseren Verständnis der Arbeitsweise des Operationsverstärkers noch ein Beispiel: Liegt am invertierenden Eingang (Pin 2) beispielsweise ein Rechteckimpuls an mit einer positiven Pulsfolge, so erscheint er am Ausgang (Pin 6) mit einer negativen Pulsfolge. Am nichtinvertierenden Eingang eingegeben, wird seine Polarität gegenüber dem Ausgang nicht verändert. Wird nun an beide Eingänge derselbe Impuls gelegt, so hebt er sich, durch die Art der Eingänge bedingt, auf, und der Ausgang wird 0. Dasselbe tritt natürlich auch dann ein, wenn beide Eingänge auf Nullpotential gelegt werden, auch dann müßte am Ausgang 0 erscheinen. Doch dem ist nicht so. Am Ausgang wird ein bestimmtes Signal erscheinen, das durch die sogenannte Offset-Spannung hervorgerufen wird. In vielen Schaltungen kann man diesen Effekt vernachlässigen, jedoch nicht in unserem Falle, wo ja mit größter Genauigkeit gearbeitet werden soll. Durch den Trimmwiderstand R19 kann nun die Offsetspannung kompensiert und der Ausgang auf exakt 0 eingestellt werden. Hierfür besitzt der Operationsverstärker spezielle Eingänge, die Pins 5 und 1. Die Ausgänge der FET-Operations-

verstärker sind kurzschlußfest und können mit einem Ausgangsstrom von bis zu 10 mA belastet werden. So können also auch Meßinstrumente mit einem relativ geringen Innenwiderstand angeschlossen und abgeglichen werden. Der Widerstand R20 hat also auf ein Meßergebnis keinen Einfluß, er soll nur dann, wenn der Ausgang offen ist, d. h. wenn kein Instrument angeschlossen ist, eine gewisse Vorlast bilden, um eine Schwingneigung eines offenen Ausganges zu unterbinden. Auch der Kondensator C17 beeinflußt die Schaltung nicht direkt, er dient nur dazu, eventuell am Netzteil auftretende Spannungsspitzen abzufangen.

4.1 Aufbau und Einstellung des Kalibrators

Auf dem Bestückungsplan der Platine werden wir die Widerstände R3 – R18 und den Schalter Sch 1 vergeblich suchen. Es wäre auch nicht sehr praktisch, diese Widerstände auf der Platine unterzubringen, denn dann müßte man mit Litzen die Verbindung zum Schalter herstellen, der ja in der Frontplatte sitzen soll. Jede Zuleitung hat einen geringen Widerstandswert, der im einzelnen vernachlässigt werden könnte, aber sich bei mehreren Leitungen doch summieren und das Ergebnis beeinträchtigen kann. *Bild 15* und *Bild 16* zeigen eine kleine Platine und deren Be-

Bild 15: Ätzplan der Zusatzplatine zum Kalibrator (siehe auch S. 121).

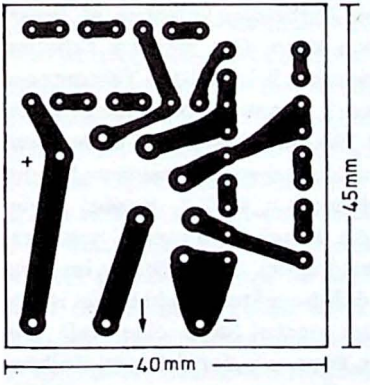
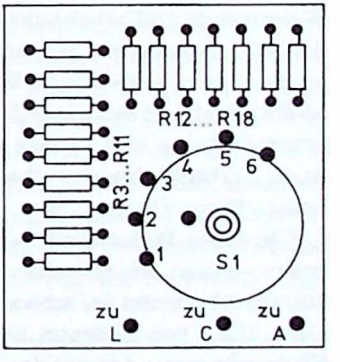


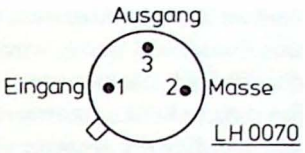
Bild 16: Bestückungsplan zu Bild 15.



stückungsplan. Die Leiterbahnführung ist so ausgelegt, daß die im Schaltplan nach *Bild 11* aufgeführte Teilerkette entsteht, die dann unmittelbar mit dem Schalter verbunden ist, denn auch der Schalter ist auf der Platine befestigt. Es handelt sich hier um einen sogenannten Lorlin-Schalter mit 1 x 12 Stellungen. Bei diesen preiswerten Schaltern können die notwendigen Raststellungen selbst hergestellt werden. Zunächst wird die an der Achse befindliche Mutter abgeschraubt. Es wird eine Scheibe mit einer kleinen Nase sichtbar, die in jeweils eines der 11 Löcher, die sich unter der Scheibe befinden, hineinragt. Diese Löcher sind mit den Zahlen 2 – 11 gekennzeichnet, die 1 und die 12 fehlen. Eine 1 wäre übrigens sinnlos, denn der Schalter sollte mit mindestens zwei Stellungen benutzbar sein; um 12 Stellungen zu erreichen, wird die Scheibe einfach fortgelassen. So besteht also die Möglichkeit, mit nur einem Schalter alle Schaltstellungen zwischen 2 und 12 einzustellen. Wir setzen nun die Scheibe so, daß die Nase in die Vertiefung 6 hineinragt, und haben damit schon die erforderlichen 6 Raststellungen hergestellt. Es gibt übrigens auch Typen mit 2 x 6 und 3 x 4 Raststellungen. Eine 2 x 6 Type könnte genausogut verwendet werden, hier wird die Scheibe entfernt, und nur eine Seite des Schalters findet Verwendung. Die Anschlüsse des Schalters sind zu Lötösen ausgebildet. Da diese nicht in die Bohrlöcher der Platine passen, knipsen wir die Ösen vorsichtig ab und feilen die verbleibenden Reste so weit an, daß sie in die Bohrlöcher passen. Durch den feststehenden Mittenanschluß ist die richtige Reihenfolge der Anschlüsse gegeben, außerdem sind sie ja numeriert und können so kontrolliert werden.

Widerstände sind bekanntlicherweise mit Farbringen versehen, an denen der Widerstandswert abgelesen werden kann. Die meisten Tabellen geben nur den Farbcode für Widerstände mit 5 % bzw. 10 % Toleranz an. Meßwiderstände mit einer Toleranz von 1 % haben noch einen zusätzlichen Farbring, also 5 Ringe insgesamt. Für einen 100-Ohm-Widerstand ist die Farbfolge braun – schwarz – schwarz – schwarz – braun, wobei der letzte Ring (braun) den Toleranzbereich „1 %“ angibt. Beim 1-Kilo-Ohm-Widerstand haben wir die Ringfolge braun – schwarz-braun – braun, wir sehen den Unterschied in der vierten Stelle: im Falle 100 Ohm bedeutet der schwarze Ring, daß diese Stelle nicht belegt ist, im Falle 100 Ohm bedeutet braun an der vierten Stelle eine Null. Die Widerstände werden mit den korrekten Werten in der richtigen Reihen-

Bild 17: Anschlüsse des Festspannungsreglers Lh 0070, von unten gesehen.



folge eingelötet, ebenso ist beim Schalter wegen der Lage des Mittenanschlusses auf richtige Position zu achten. IS 3 ähnelt einem groß geratenen Transistor, die Belegung der Anschlüsse zeigt *Bild 17,* durch die vorgegebene Anordnung der Bohrlöcher kann die IS nicht falsch eingesetzt werden. Ebenso wie Transistoren sollte auch die IS nicht auf der Platine aufliegen, sondern 7 bis 10 mm über der Platine stehen. Da die IS durch die dünnen Anschlußdrähte unstabil ist, ist es besser, eine Abstandsscheibe zu verwenden. Es gibt solche Scheiben aus Kunststoff, aber auch aus Spezialmaterial als Antiwärmscheibe. R19 ist ein sogenannter Wendel-Trimm-Widerstand. Er kann mit einer Schraube durch 10 Umdrehungen (bei teureren Ausführungen auch durch 20 Umdrehungen) exakt eingestellt werden. Es kommt uns hier nicht nur auf die genaue Einstellung an, sondern auch auf die Stabilität. Normale 180- bzw. 270-Grad-Trimmer können sich durch kleine Erschütterungen leicht verstellen. Da der Wendel-Trimmer einen Schneckenantrieb besitzt, ist bei ihm ein Verstellen praktisch unmöglich; wer mit der Technik vertraut ist, wird wissen, daß man mit einer Schnecke ein Rad antreiben kann, niemals aber umgekehrt mit einem Rad eine Schnecke. Ganz zum Schluß wird die IS eingesetzt, es bleibt dabei jedem überlassen, ob er eine Fassung verwenden will. Wer Schwierigkeiten mit dem Löten hat oder die IS später einmal leicht auswechseln will, wird eine Fassung vorziehen.
Nun werden noch die Lötnägel eingelötet und von diesen aus mit nicht zu dünnem Litzenkabel die Anschlüsse zur kleinen Platine hergestellt. Dabei ist auf die Buchstaben laut dem Bestückungsplan und *Bild 11* zu achten. Es wird also Buchstabe A mit Buchstabe A, B mit B usw. verbunden. Die Litzen sollten nicht zu kurz geschnitten werden, damit wir später beim Einbau in das Gehäuse noch Reserve haben. Litzen sind hier dem starren Schaltdraht vorzuziehen, da sie nicht brechen können und wir die Platine, solange sie noch nicht eingebaut ist, doch noch einige Male drehen und wenden werden.
Nun wird noch einmal eine Sichtprüfung durchgeführt, um aufgetretene Fehler beim Bestücken festzustellen und zu beseitigen. Sind wir mit

unserer Arbeit zufrieden, verbinden wir die Platine mit dem Trafo. An den Punkten B und L wird ein Spannungsmesser angeschlossen, der auf den 10-Volt-Meßbereich eingestellt wird. Mit Schalter 1 müssen wir nun die angegebenen Spannungen 0 – 0,1 – 0,5 – 1 – 5 und 10 einstellen können. Für die Anzeige der kleinen Spannungen werden wir selbstverständlich auch einen kleineren Meßbereich wählen. Ob der angeschlossene Spannungsmesser die Voltzahlen exakt wiedergibt, hängt von der Genauigkeit des Instrumentes ab. Stimmen die Werte fast überein, können wir davon ausgehen, daß unser Gerät stimmt und die Abweichung auf das ungenaue Meßinstrument zurückzuführen ist. Sollten sich jedoch sehr große Unterschiede ergeben, so muß das Gerät sofort ausgeschaltet und die Schaltung noch einmal gründlich unter die Lupge genommen werden. Es ist zu fragen, ob die Widerstände R3 bis R18 in der richtigen Reihenfolge eingelötet sind, ob der Schalter 1 richtig eingesetzt ist, ob die integrierte Schaltung richtig eingesetzt ist; andere Fehler können eigentlich nicht vorkommen, wenn das Netzteil, wie dort angegeben, kontrolliert worden ist. Zum Abgleich des Anzeigeinstruments bzw. eines Meßinstruments geht man in einer bestimmten Reihenfolge vor: zunächst wird der Zeiger durch Verdrehen der kleinen Schraube unterhalb des Zeigers bei ausgeschaltetem Meßgerät exakt auf den Anfang der Skala, also auf Null gestellt. Nun wird der Meßwertgeber auf 0 Volt gestellt und angeschlossen. Das Meßinstrument sollte nun exakt auf der Null stehen bleiben; wenn es das nicht tut, dann muß die elektrische Nulleinstellung entsprechend eingeregelt werden. Nun wählt man am Meßinstrument einen Meßbereich, innerhalb dem 10 Volt im letzten Drittel der Skala abzulesen sind, also beispielsweise den 15-Volt-Meßbereich. Bleibt der Zeiger nach Anschluß des Meßwertgebers exakt auf 10 stehen, dann ist das Gerät schon abgeglichen, die anderen Bereiche werden zur Kontrolle verglichen. Werden die 10 Volt nicht genau angezeigt, dann müssen wir an dem Rändelknopf, an dem sonst die elektrische Nullstellung abgeglichen wird, drehen. Natürlich wurde dadurch der Nullpunkt verstellt, und wir müssen nun – da wir davon ausgehen, daß die 10 Volt stimmen – die Skala spreizen. Wir schalten den Meßwertgeber auf 0 Volt und verstellen R 19 so lange, bis der Zeiger des Meßinstrumentes Null anzeigt. Wir kontrollieren anschließend noch einmal die 10-Volt-Anzeige, gehen dann erneut auf Null zurück und regeln R 19 eventuell noch etwas nach. Es kann natürlich vor-

kommen, daß man mit dem Trimmer bis an dessen Bereichsende kommt (durch ein deutliches Knacken beim Weiterdrehen zu hören bzw. bei durchsichtigem Gehäuse zu sehen) und nicht mehr weiterregeln kann. In diesem Fall stellt man den Trimmer wieder zurück auf Mittenstellung und versucht nun, durch wechselseitiges Verdrehen der elektrischen Nullpunkteinstellung am Meßgerät und des Trimmers einen Bereich zu finden, innerhalb dessen der Zeiger des Meßinstruments nach beiden Seiten um die Null herum einstellbar ist. Unstimmigkeiten kann es nur bei zu guten Geräten geben, da diese dann exakter sind als unsere Kalibrierspannung (dies wird in der Praxis des Hobby-Bastlers kaum auftreten) oder aber bei den sehr billigen (unter DM 50,–) Geräten, bei denen die Meßbereiche untereinander nicht stimmen. Bei einem derartigen Gerät wird dann jeweils der Meßbereich, in dem eine Messung vorgenommen wird, getrennt von den anderen kalibriert.

Grundsätzlich gilt für den Abgleich von digitalanzeigenden Meßgeräten dasselbe wie für die Zeigerinstrumente. In der Praxis ergeben sich jedoch, bedingt durch den Aufbau, einige beachtenswerte Unterschiede. Bei den meisten Digitalmeßgeräten wird an der ersten Stelle (dem ersten Digit) nur die Zahl 1 angezeigt, d. h. daß in jedem Meßbereich die Zahlenfolge 000 die untere Grenze und die Zahlenfolge 1999 die obere Grenze angibt. Je nach Meßbereich wird die Kommastelle verschoben, so daß beispielsweise im Bereich 0 bis 200 Millivolt die Anzeige von 00,0 bis 199,9 geht; im Bereich 0 bis 2 Volt die Anzeige von ,000 ist 1,999. Viele Geräte haben einen „overflow", d. h. bei Verlassen des gewählten Anzeigebereichs wird die Überlast dadurch angezeigt, daß an der ersten Stelle eine 1 erscheint und die anderen Stellen dunkel bleiben. Die meisten Digitalmultimeter können außerdem noch die Polung anzeigen. Für den Unerfahrenen verwirrend ist bei Digitalmeßgeräten das sogenannte Flattern der letzten Stelle. So wird auch bei einem genauen Gerät die Anzeige von 1,000 Volt durch ein Schwanken zwischen den Zifferkombinationen 1,001 und ,999 angezeigt. Bei billigen Geräten mit höherer Toleranz kann der Sprung durchaus zwischen ,995 und 1,005 liegen. Als Faustregel kann man sich merken, daß der Wert dann richtig angezeigt wird, wenn die Schwankung im Plus- und im Minusbereich gleich groß ist (dies wäre z. B. nicht der Fall, wenn bei Anliegen von 1 Volt die Anzeige zwischen 1.003 und 1.001 springt).

Richtig eingestellte Digitalmeßgeräte haben eine bessere Konstanz als Zeigerinstrumente. Es muß allerdings dabei beachtet werden, daß bis zum Beginn der Messung eine gewisse Einlaufzeit notwendig ist, die zwischen 10 und 30 Minuten liegen kann. Es ist also nicht sinnvoll, ein Digitalmeßgerät andauernd aus- und einzuschalten. Für Hobby-Elektroniker, die häufiger Messungen durchführen, empfiehlt es sich also durchaus, bei einem batteriebetriebenen Gerät ein Netzteil zu verwenden.

Bei einem Digitalmultimeter, das nicht selbst gebaut, sondern gekauft wurde, ist die Überprüfung auf Genauigkeit mit Hilfe des Meßwertgebers sehr einfach: Der Meßwertgeber wird angeschlossen, und das Gerät wird innerhalb des geräteeigenen Toleranzbereichs den richtigen Wert anzeigen. Sollte dies nicht der Fall sein, so wäre es falsch, sofort am Meßinstrument herumzubasteln, denn dies erfordert bei Digitalmultimetern schon größere Kenntnisse in der Elektronik. Zunächst wird man also noch einmal prüfen, ob der Meßwertgeber richtig geschaltet ist, dann wird man die „Einbrennzeit" des Digitalgerätes beachten; zeigt das Gerät dann immer noch nicht exakt an, dann wird man zunächst zum Händler gehen, bei dem man das Gerät erworben hat. Jeder gekaufte Gegenstand unterliegt ja entsprechend den allgemeinen Geschäftsbedingungen einer sechsmonatigen Garantie – auch wenn dies nicht ausdrücklich auf einem Garantieschein oder ähnlichem vermerkt ist. Voraussetzung für das Geltendmachen eines Garantieanspruches ist natürlich, daß man sich noch im Besitz der Quittung befindet. Ist die Garantie abgelaufen und der Händler sieht sich außerstande, auf dem Kulanzwege etwas zu erreichen, dann besteht zunächst die Möglichkeit, die Abweichung zu markieren und bei zukünftigen Messungen zu beachten. Wer nun doch an das Gerät heran will oder wer sich ein Digitalmeßgerät selbst gebaut hat, der muß zunächst einmal im Besitz eines Schaltplanes sein, auf dem die im Gerät vorhandenen Einstellregler und ihre Funktion gekennzeichnet sind. Man wird in der Regel drei Abgleichsmöglichkeiten haben, die meist als Wendel-Trimmer ausgelegt sind. Da ist zunächst der Anzeigeregler, mit dem die Anzeige auf 000 eingestellt werden kann (auch hierbei ist zu beachten, daß das letzte Digit schwankt!). Bei einem Multimeter wird ein zweiter Regler vorhanden sein, mit dem bei Wechselspannung der Meßgleichrichter so eingestellt werden kann, daß bei kurzgeschlossenem Eingang die Anzeige auf Null

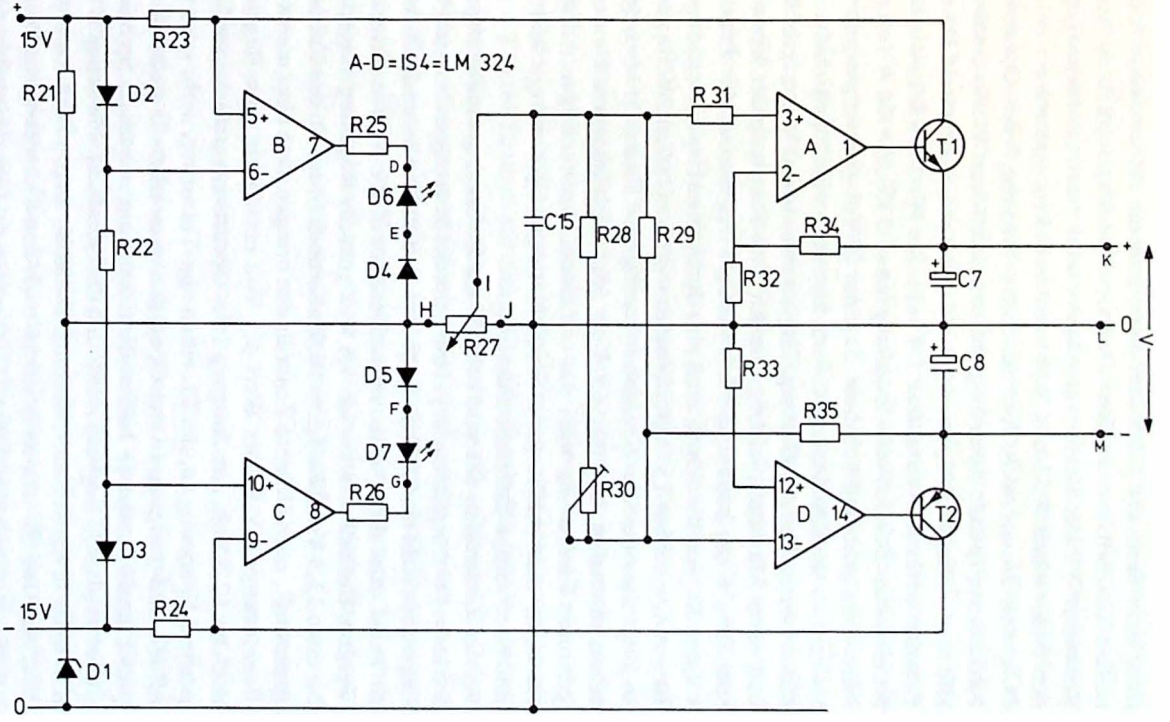
steht. Geräte, mit denen Widerstandsmessungen durchgeführt werden können, besitzen natürlich auch hierfür einen Regler, um bei kurzgeschlossenem Eingang die Anzeige auf 000 einstellen zu können (bei offenem Eingang steht im Widerstandsbereich die Anzeige auf Überlauf, da ja „unendlich" Ohm angezeigt werden).

5. Doppelnetzgerät, einstellbar von 2 x 0 bis 15 Volt bzw. von 1 x 0 bis 30 Volt

Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß Netzgeräte ohne besondere Maßnahmen nicht bis auf 0 Volt heruntergeregelt werden können. Der Grund liegt bei der Referenzspannung, auf die sich jede Regelung beziehen muß. Diese Referenzspannung wird in einfacher Weise mit einer Zenerdiode erzeugt. Aus Gründen der Stabilität kann diese Z-Diode nicht kleiner als 2,7 Volt dimensioniert werden. Will man geringere Referenzspannungen verwenden, muß man andere Wege gehen. Da ist einmal die Möglichkeit, einfache Dioden in Reihe zu schalten und dadurch kleinere Spannungen zu erzeugen. Hierbei würde man die Schleusenspannung von 0,7 Volt zur Regelung ausnützen. Zwei Dioden ergeben dann einen Wert von 1,4 und drei Dioden einen von 2,1 Volt. Auch diese Lösung ist ein Notbehelf und wird nur selten angewandt, zumal ja auch der Idealfall 0 Volt nicht erreicht wird. Um diese Möglichkeit zu bieten, muß man den Fußpunkt der Z-Diode unter die Nullinie auf ein Minuspotential legen. Hierzu wird auf den Trafo eine zweite Wicklung aufgebracht, die zwischen 6 und 10 Volt erzeugt; da eine Z-Diode kaum Strom benötigt, genügt eine geringe Belastbarkeit. Nun muß natürlich auch diese neue Spannung gleichgerichtet und gesiebt werden, was schon einen größeren Aufwand erfordert. Hinzu kommt, daß derartige Schaltungen temperaturabhängig sind und bei längerem Betrieb zu „driften" beginnen, d. h. in der Praxis falsche Werte hergeben können und eventuell andere Schaltungen zerstören, z. B. solche mit integrierten Schaltungen, die nur 5 Volt bekommen dürfen. Man muß bei einer derartigen Schaltung sehr temperaturstabile Zenerdioden einsetzen (Temperaturkoeffizient 0,001 oder besser), die recht teuer sind; die Preise für

die niedrigen Werte solcher Zenerdioden liegen bei etwa DM 80,– pro Stück. Erheblich preiswerter wird es, wenn man wie im nachfolgend beschriebenen Netzgerät eine „normale" Zenerdiode durch einen Operationsverstärker „puffert". Hierzu werden Operationsverstärker verwendet, die praktisch ab 0 Volt arbeiten, wie z. B. die IS LM324, die vier derartige Operationsverstärker enthält. Wie diese Regelung arbeitet und wie man ein Netzteil aufbaut, das bis 0 Volt heruntergeregelt werden kann und bis zu 10 Ampere Strom abgibt, ist vom Verfasser bereits mehrfach beschrieben worden (F. Schiersching, Lichterpracht in der Modellbahnstadt und F. Schiersching, Das große Bastelbuch, Elektronik für den Modellbahner, erschienen im Telekosmos-Verlag, Stuttgart).
Bild 18 zeigt die Schaltung des Netzgerätes; es wird ersichtlich, daß auch hierin die IS LM324 zum Einsatz kommt. Diese IS kann symmetrisch mit einer Maximalspannung von 2 x 16 Volt betrieben werden oder asymmetrisch mit 32 Volt. Damit liegen die Ausgangsspannungen für das Netzgerät bereits fest; es kann ja nie mehr entnommen werden, als die Versorgungsspannung hergibt. In der Praxis liegen die Werte etwas darunter, das Netzgerät gibt also rund 30 Volt oder 2 x ca. 15 Volt maximal ab. Die vier Operationsverstärker der IS arbeiten ab 0 Volt linear bis zur eingestellten Maximalvoltzahl, so daß sich eine gleichmäßige Regelung über den gesamten Bereich ergibt. Da ein Doppelnetzgerät realisiert werden soll, muß die Versorgungsspannung symmetrisch sein. Es wäre zwar denkbar, mit zwei integrierten Schaltungen ein Doppelnetzgerät aufzubauen und die Regelung der Ausgangsspannung mit einem Tandem-Potentiometer vorzunehmen. Dies ist aber nur dann sinnvoll, wenn das Netzgerät hoch belastbar sein soll, und da uns 1 Ampere genügt, wurde die einfachere und preiswertere Schaltung mit nur einer IS gewählt. Das Prinzip der Regelung des Netzgerätes besteht darin, die Stellglieder (meistens Transistoren) wie einen Wasserhahn auf oder zuzudrehen und so mehr oder weniger Spannung durchzulassen. Die Stromverstärkung wird durch Kombination der Transistoren, z. B. als Darlington- oder Parallelschaltung bestimmt. Gute Netzgeräte sollten eine Kurzschlußsicherung haben bzw. eine regelbare Strombegrenzung. Ist beides nicht vorhanden, dann wird ein Kurzschluß zwangsläufig die Endtransistoren zerstören, und dies ist ja nicht Sinn der Sache. In unserem Netzgerät ist eine Strombegrenzung vorhanden; sie ist allerdings nicht regelbar, da der Verwendungszweck (Spannungsversorgung für IS) dies

Bild 18: Schaltplan des regelbaren Doppelnetzteils.



nicht erfordert. Ganz konkret kann nun die Arbeitsweise folgendermaßen beschrieben werden: Der Operationsverstärker A regelt den Transistor T1, der Verstärkungsfaktor wird durch die Dimensionierung der Widerstände R32 und R34 auf den Faktor von etwa 3 eingestellt. D. h. daß die am nicht invertierenden Eingang 3 des Operationsverstärkers anliegende Spannung auf den dreifachen Wert verstärkt wird. Die dort anliegende Spannung wird durch die Zenerdiode D1 und das Potentiometer R27 festgelegt. D1 hat einen Wert von 6,9 Volt, d. h. daß im höchsten Bereich eine Regelung bis zu 3 x 6,8 = 20,4 Volt möglich wäre. Dies geht natürlich nicht, da ja nur 15 Volt (Versorgungsspannung) vorhanden sind. Außerdem kommt hier noch eine Eigenschaft der Operationsverstärker zur Geltung, die nur zwischen 0 Volt regeln können, und einer Maximalspannung, die 1,5 Volt unterhalb der Versorgungsspannung liegt, höher als 13,5 Volt geht es also in der Praxis nicht. Unsere Kapitelüberschrift muß also durch den Hinweis ergänzt werden: Regelung „bis fast 15 Volt". Werden trotzdem höhere Werte gemessen, so liegt dies bei der Exemplarstreuung der Festspannungsregler, die schon einmal statt exakt 15 Volt 15,3 Volt abgeben können. Eine genauere Einstellung wäre nur mit einem hier unnötigen Aufwand erreichbar, man müßte dann nämlich einige einprozentige Widerstände und noch einige Trimmer einsetzen.

An der Zenerdiode D1 wird mit R27 die Referenzspannung abgegriffen. Sie kann bei 0 beginnen, da ja eine Seite des Potentiometers an 0 Volt anliegt, und reicht bis 6,8 Volt. Ist gerade eine andere Zenerdiode zur Hand, so kann man diese auch verwenden, wenn die Werte nicht zu klein werden. Bei einem Wert von 5,6 Volt geht die Regelung immerhin noch bis etwa 13,5 Volt (3 x 5,6 = 16,8, also noch oberhalb der Versorgungsspannung), noch kleinere Zenerdioden bringen dann aber unerwünschte Begrenzungen, z. B. der Wert 4,1 Volt ermöglicht eine Regelung nur noch bis 12,3 Volt. Am Ausgang 1 des Operationsverstärkers A liegt eine positive Spannung an, die T1, einen npn-Transistor, mehr oder weniger öffnet. Am Ausgang 14 des Operationsverstärkers D befindet sich ein pnp-Transistor, der ja bekanntlich mit einer negativen Spannung geöffnet wird. R33 liegt am Nullpunkt der Schaltung und bringt 0 Volt auf den nicht invertierenden Eingang 12. Somit liegen auch am Ausgang 0 Volt an. Der OP ist nun bestrebt, auch den invertierenden Eingang 13 gegen 0 Volt gehen zu lassen. Dem wirken die Gegenkopplung über R35

und R29 entgegen. Über R29 wird die Zenerspannung im gleichen Verhältnis auf den Eingang 13 des Operationsverstärkers D wie auf den Eingang 3 des Operationsverstärkers A gegeben. Ausgang 14 wird dadurch im gleichen Maße negativ, wie der Ausgang 1 des Operationsverstärkers A positiv wird, und regelt so den Transistor T2 auf und zu. R28 und R30 dienen dazu, die unvermeidlichen Toleranzen auszugleichen und eine Symmetrie beider Ausgänge herzustellen. C7 und C8 puffern beide Spannungen gegeneinander ab, und C15 verhindert die Neigung zum Schwingen, die ein LM324 schon einmal haben kann. OP B und C sind als Komparatoren geschaltet und arbeiten als Strombegrenzer. R23 und R24 sind die Stromfühler; solange an diesen Widerständen der Spannungsabfall 0,6 Volt nicht übersteigt, führen die Ausgänge beider OP Pluspotential. Wird ein höherer Strom als 1,07 Ampere gezogen, dann überschreitet der Spannungsabfall an den Widerständen die 0,6 Volt, und die Ausgänge der Operationsverstärker gehen auf Null. Damit wird über die Dioden D4 bis D7 die Referenzspannung der Zenerdiode auf Null gezogen, und OP A und D sperren. Diese Art der Strombegrenzung ist keine echte Kurzschlußsicherung, da der Kurzschluß nicht unbegrenzt lange stehen bleiben kann, weil T1 und T2 heiß und mit der Zeit zerstört werden. Die Sicherung ist jedoch für unsere Zwecke ausreichend, und wenn T1 und T2 noch mit einem Kühlblech versehen werden, halten sie Kurzschlußzeiten von einigen Minuten durch. D6 und D7 sind Leuchtdioden, die später auf der Frontplatte befestigt werden und den Kurzschlußfall optisch anzeigen. Bei der Verwendung als Doppelnetzgerät zeigt dabei D6 einen Kurzschluß in der positiven Leitung, D7 einen in der negativen Leitung an. Wird das Gerät als Einfachnetzgerät betrieben, dann leuchtet bei Kurzschluß nur D6 auf.

5.1 Aufbau des Doppelnetzteils

Wir bestücken die bereits angefangene Platine entsprechend der Stückliste und dem Bestückungsplan *Bild 10* weiter. Man beginnt mit den 5 Drahtbrücken und fährt dann fort, die Widerstände, Lötnägel, Dioden, Zenerdioden, IS-Fassung einzulöten. Auf der Platine ist R27 als Trimmer eingezeichnet. Dies ist für den Fall gedacht, daß nur eine Festspannung eingestellt werden soll. Wird die Möglichkeit der Regelung

gewünscht, dann werden in die Bohrungen Lötnägel eingesetzt und ein 250-Ohm-Potentiometer über Litze angeschlossen. Hierbei ist natürlich auf den Drehsinn zu achten, die Spannung sollte bei Drehung nach links auf Null gehen. T1 und T2 können wie bereits erwähnt mit Kühlblechen versehen werden, der notwendige Platzbedarf wurde beim Platinen-Layout berücksichtigt. Für T1 und T2 können auch andere Typen verwendet werden, z. B. BD633/634 oder BD605/606. Eventuell muß bei Verwendung der zuletzt genannten Typen R34 geändert werden, da sonst bei der Regelung die volle Spannung nicht erreicht werden kann bzw. die Regelbarkeit im unteren Bereich gering ist und die Spannung zu schnell von Null auf einen höheren Wert ansteigt. R23 und R24 sind, da mit 5 Watt belastbar, sehr groß, es wurde dies beim Platinen-Layout berücksichtigt. Zur Not genügen übrigens 3-Watt-Typen. Zur Bestückung ist viel mehr nicht zu sagen als das Übliche, nämlich auf die Polung der Dioden und Elkos zu achten und die IS richtig einzusetzen. An den Punkten D, E, F und G werden die beiden LEDs provisorisch angeschlossen, da sonst die Strombegrenzung nicht überprüft werden kann. Dann wird der Trafo mit seinen beiden Wicklungen angeschlossen; haben wir zwei Spannungsmesser zur Verfügung, schließen wir einen an K und L, den anderen an L und M an. Dabei ist darauf zu achten, daß L an Plus und M an Minus liegen muß. Wir verfolgen zunächst den positiven Spannungsbereich. Hier sollte sich mit R27 die Spannung zwischen 0 und 13,5 Volt regeln lassen. Die Praxis hat gezeigt, daß 0 immer erreicht wird, die 13,5 Volt eventuell nicht. In diesem Fall muß R34 von 56 kOhm auf 68 kOhm vergrößert werden. Wenn die Regelung dann immer noch nicht funktioniert, steckt in der Schaltung ein Fehler, man schaltet aus und prüft nochmals nach, ob alle Dioden richtig eingesetzt sind, z. B. D2 und D3 (die eine Diode zeigt zur IS hin, die andere von ihr weg). Nun wird der negative Spannungszweig eingestellt. Mit R27 wird im positiven Zweig eine Spannung von etwa 10 Volt eingestellt und mit R30 der negative Bereich auf diesen Wert nachgezogen. Anschließend kann mit R27 der Spannungswert in beiden Zweigen gleichmäßig geregelt werden. Sollte es im Endwert kleine Differenzen geben, so liegt das an den unterschiedlichen Ausgangswerten der Festspannungsregler IS 1 und IS 2. Dies ist wie gesagt ohne großen Aufwand schlecht zu ändern. Da der Fehler nur im Endwert auftritt, fällt er auch nicht ins Gewicht. Zum Schluß wird der Spannungs-

messer an K und M angelegt (Minus an M!), es müssen nun 0 bis 27 Volt angezeigt werden. Zum Abschluß wird auch noch die Strombegrenzung überprüft. Dazu schließt man an den Ausgang einen Widerstand von 12 Ohm bei eingestellten 12 Volt an. D6 bzw. D7 beginnt nun schwach zu glimmen, und die Spannung geht geringfügig zurück. Bei einem Widerstand von 15 Ohm darf die Leuchtdiode nicht aufleuchten und auch die Spannung nicht zurückgehen; wird dagegen ein Widerstand von 10 Ohm eingesetzt, muß die entsprechende LED voll aufleuchten und die Spannung auf 0 zurückfallen. Natürlich muß der eingesetzte Widerstand hoch belastbar sein (mindestens 20 Watt!); es ist nicht zu empfehlen, mit den Fingern an die Schaltung zu gehen, da der Widerstand natürlich sehr heiß wird.

6. Der Rauschgenerator

Der Skeptiker wird zu Recht fragen, was ein Rauschgenerator auf einer Platine zu suchen hat, die einen hochpräzisen Spannungs-Meßwertgeber enthält. Denn Rückwirkungen sind unvermeidlich, auch wenn Abschirmungsmaßnahmen getroffen werden, da die Spannungsspitzen über die Versorgungsleitungen laufen. Solche Rückwirkungen verhindert jedoch der Schalter SCH 3. Es kann davon ausgegangen werden, daß der Spannungs-Meßwertgeber und die Generatoren nie gemeinsam betrieben werden. Sie werden deshalb bei Betrieb des Meßwertgebers ausgeschaltet; bei Betrieb des Doppelnetzgerätes spielen die Rückwirkungen keine Rolle.
Ein Rauschgenerator ist nicht nur eine Schaltung, um Geräuscheffekte z. B. in elektronischen Musikschaltungen zu erzielen. Man kann das von ihm erzeugte Rauschen auch zu Testzwecken benutzen und z. B. das Verstärkerverhalten von Kleinsignal- und Großsignalverstärkern überprüfen, wie Durchlaßkurven von Bandfiltern, Abstimmung von Rundfunkgeräten oder auch Fernsehern. Normale Signalgeber, die oft als kleine und handliche Geräte für Hobby-Bastler angeboten bzw. als Bauanleitung beschrieben werden, sind für viele Anwendungsbereiche nicht zu verwenden, und spezielle Meßsender sind sehr teuer. Rauschgene-

Foto 1 Platine des eigentlichen Gebers mit Netzteil, Quarzfrequenzen, Spannungskalibrator, Rauschgenerator und regelbarem Doppelnetzteil.

ratoren haben dagegen eine große Brandbreite bis etwa 500 MHz und können deshalb universal eingesetzt werden. Die einfache Schaltung zeigt *Bild 19*. Sie erzeugt ein sogenanntes weißes Rauschen. Durch verschiedene Filter kann man „farbiges" Rauschen erzeugen, z. B. „rosa" oder „schwarzes" Rauschen. Diese Rauscharten bevorzugen jeweils ein bestimmtes Frequenzspektrum, wogegen das „weiße" Rauschen in allen Bereichen vorhanden ist. Das Prinzip der Rauschspannungserzeugung beruht auf dem Betrieb einer Zenerdiode in Durchbruchsspannung. Da man hierbei je nach Wert der Zenerdiode verschiedene Rauschspannungen erhalten würde, benützt man immer häufiger einen Transistor, der ja auch wie eine Zenerdiode geschaltet werden kann. In unserem Fall ist dies T3, der bei einer Spannung über 9 Volt in den Zenerbetrieb übergeht, d. h. also rauscht. Dieses Rauschen gelangt auf die Basis von T4, der als normaler Kleinverstärker arbeitet. R39 ist der Vorwiderstand für T3 und begrenzt den Strom. R40 ist der Kollektorwiderstand für T4, an ihm kann über C14 das Rauschen ausgekoppelt werden. Mit R39, T3 und C13 wird gleichzeitig die Basisvorspannung für T4 gegeben. IS8 und C12 sind Bauteile, die für die Spannungsversorgung des später beschriebenen Quarzgenerators notwendig sind.

Bild 19: Schaltplan des Rauschgenerators.

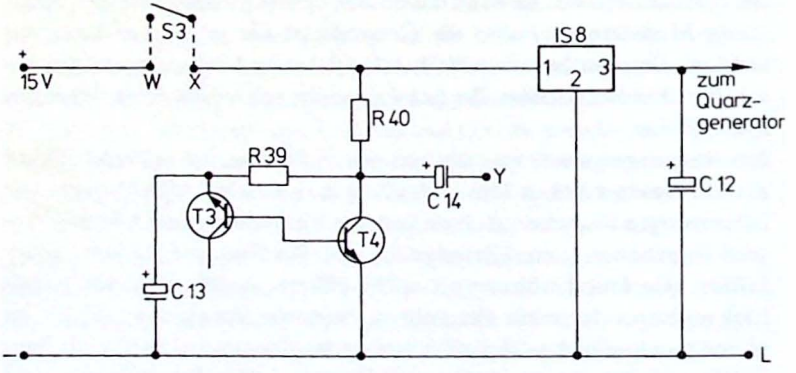
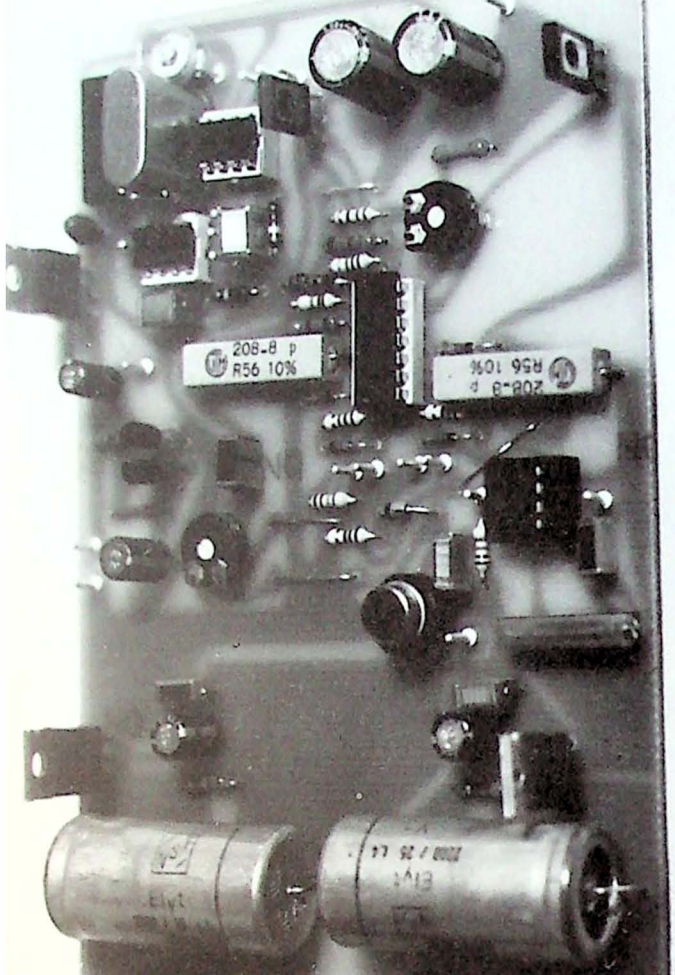
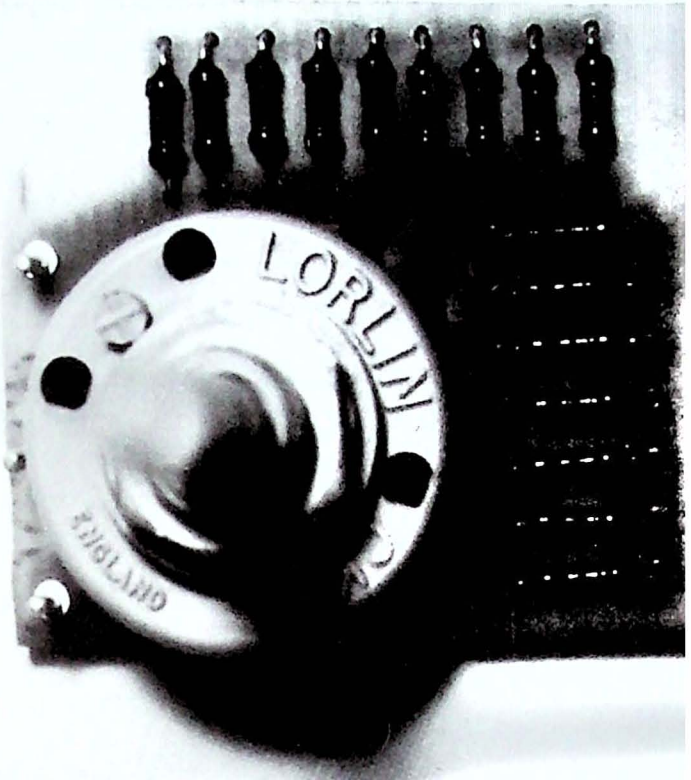
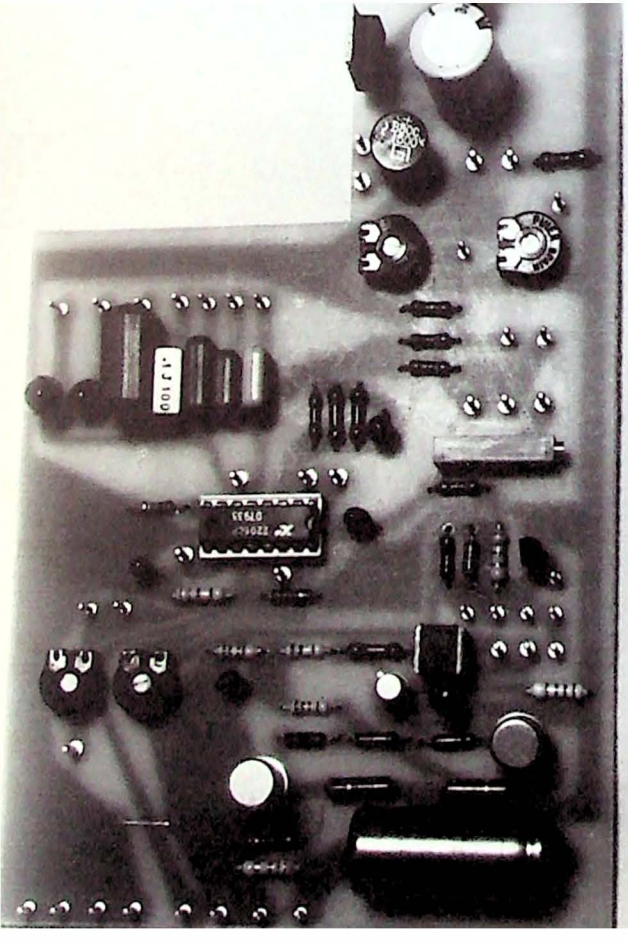


Foto 2 Zusatzplatine für den Spannungs-Kalibrator.


208-8 P
R56 10%
208-8 P
R56 10%


LORLIN
ENGLAND



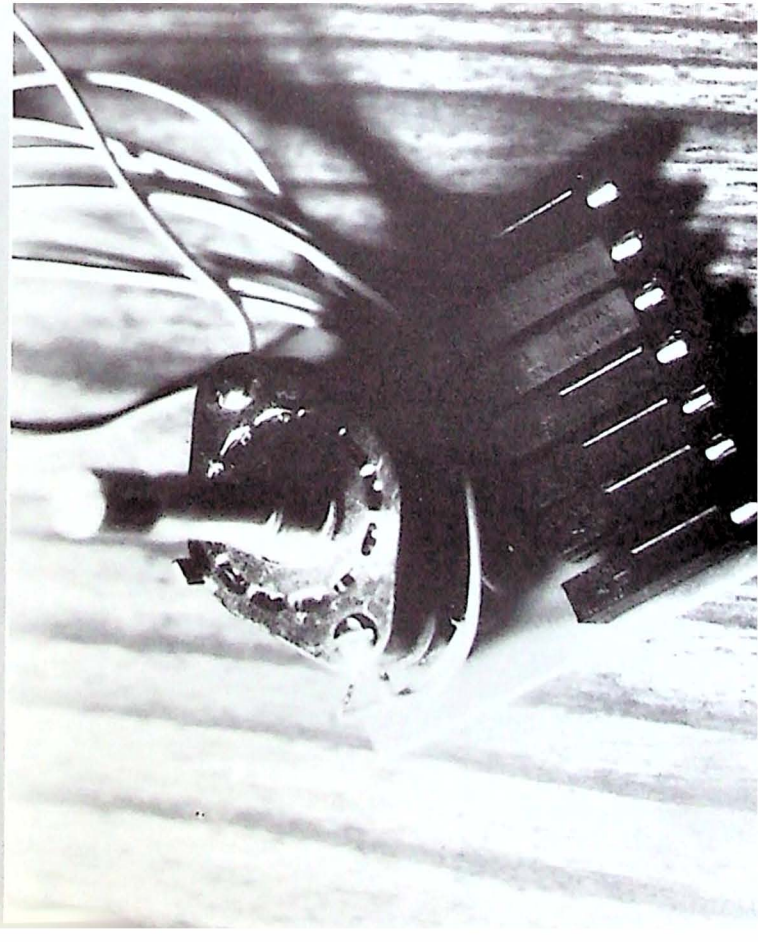


Foto 3 Fertig bestückte Funktionsgeneratorplatine. Der Ausschnitt in der Leiterplatte schafft Platz für den Netztransformator.

6.1 Aufbau des Rauschgenerators

Der Generator ist mit wenigen Handgriffen aufgebaut, es ist eigentlich nur auf die Polung der Elkos zu achten. An W und X befestigt man mit Litzen einen kleinen Kippschalter. Dann kann man wieder den Trafo anschließen und den Generator überprüfen. Hierzu befestigt man zwischen Y und L einen kleinen Lautsprecher, schaltet die Spannung ein und den Kippschalter zwischen W und X und ... hört absolut nichts! Dies deshalb, weil die Rauschamplitude nur wenige Millivolt beträgt und viel zu klein ist, um über einen normalen Lautsprecher hörbar zu werden. Nur wenn wir den Lautsprecher direkt ans Ohr halten, können wir ein schwaches Rauschen vernehmen. Besser wird es, wenn man einen Lautsprecher mit einer Impedanz zwischen 250 und 500 Ohm oder einen kleinen Kopfhörer verwendet. Nun ist es nicht unbedingt der Sinn des Generators, sofort gehört zu werden, da das Rauschen bei der Überprüfung eines Verstärkers ja verstärkt und hörbar gemacht wird bzw. bei Überprüfungen von Bandfiltern oder Fernsehern im Oszilloskop beobachtet wird. Wer es also lauter haben möchte, der muß einen kleinen Verstärker nachschalten oder das Signal später über einen Schalter der Verstärkerstufe des Funktionsgenerators zuführen. Diese Schaltung muß sofort funktionieren, es sei denn, daß die Elkos verkehrt herum eingesetzt wurden oder die Transistoren defekt sind. Nun ist auch diese Baugruppe abgeschlossen, und zur Komplettierung der Platine fehlt nur noch der Quarzgenerator.

Foto 4 Zusatzplatine zum Funktionsgenerator. Mit den 7 Trimmern kann jede Dekade der Frequenzumschaltung für sich abgeglichen werden.

7. Ein Quarzgenerator mit Impulsausgängen von 1 MHz, 1 bis 100 kHz und 1 bis 100 Hz.

Einen Multivibrator als Impulsgenerator aufzubauen ist nicht schwierig und mit wenigen Bauteilen realisierbar. Probleme treten dann auf, wenn dieser Generator Impulse mit einer genauen Frequenz liefern soll. Schon mancher Hobby-Elektroniker, der eine Digital-Uhr aufgebaut hat – mit eigenen Mitteln, nicht mit einem Bausatz –, hätte gern einen Generator gehabt, der ihm eine genaue Frequenz von exakt 1 Hz liefert. Nun lassen sich zwar Generatoren sehr schön berechnen und dimensionieren, dies ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn die handelsüblichen Toleranzen der Bauteile keinen Strich durch die Rechnung machen. Für einen Generator, der 1 Hz liefern soll, ist z. B. eine Widerstandstoleranz von 1 % schon zuviel.

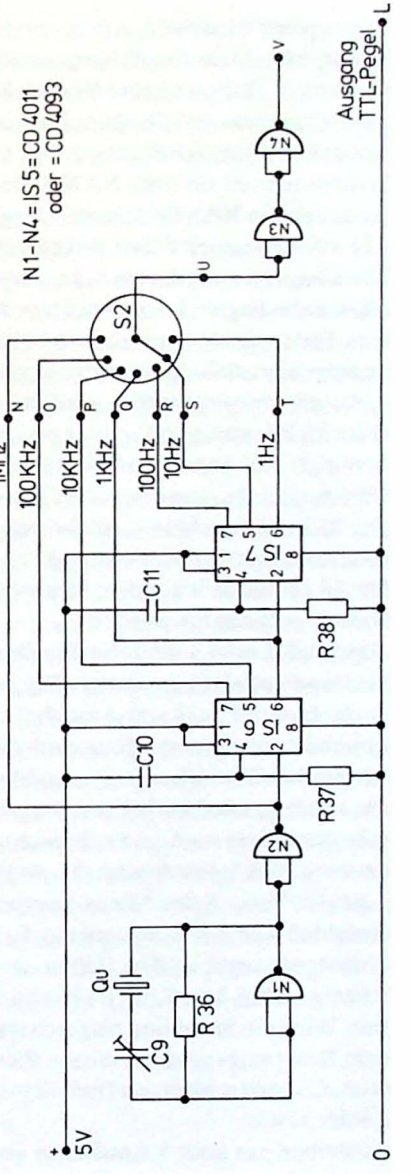
Hier helfen Quarzgeneratoren. Ein Quarz ist ein Bauelement, das ein dünnes Siliziumplättchen enthält, welches je nach der aufgedruckten Frequenz mehr oder weniger dünn geschliffen worden ist. Angeregt durch eine angelegte Spannung, die ihm über verschiedene Bauteile vermittelt wird, schwingt es dann auf derjenigen Frequenz, für die es eingeschliffen wurde. Die Frequenz wird mit einer Toleranz von allerhöchstens 0,005 % abgegeben; typische Toleranzen liegen bei 0,00001 %!

Es wäre technisch sehr aufwendig und auch nicht sinnvoll, einen Quarz für eine Frequenz von 1 Hz herzustellen. Für den Hobby-Elektroniker werden Quarze ab einer Frequenz von 100 kHz erschwinglich, sie werden übrigens um so billiger, je höher die abgegebene Frequenz ist.

Höhere Frequenzen als 1 Hz sind für viele Testzwecke notwendig: man überprüft damit Zählschaltungen, Oszilloskope oder eine Zeitbasis. In Generatorschaltungen werden deshalb meist Quarze mit einer Frequenz von 1 oder 2 MHz verwendet, zu kleineren Frequenzen gelangt man durch Herunterteilen z. B. mit der integrierten Schaltung 7490 SN. Diese IS teilt die jeweils vorhergehende Frequenz durch 10, sollen also 1 MHz auf 1 Hz heruntergeteilt werden, dann sind 6 integrierte Schaltungen notwendig.

Einen einfacheren Weg zeigt die Schaltung nach *Bild 20.* Hier wird ein Quarz verwendet, der 1 MHz ergibt. Der Generator besteht aus den Bau-

Bild 20: Schaltplan des Quarzgenerators 1 Hz bis 1 MHz.



teilen Qu, C9, R36 und N1. Mit dieser einfachen Generatorschaltung schwingt der Quarz zuverlässig an. Mit dem Kondensatortrimmer C9 läßt sich später die Frequenz sehr präzise einstellen.

Für viele Hobby-Elektroniker ist ein Schwingkreis mit integrierten Schaltungen immer noch unverständlich. Darum soll das Prinzip einmal ganz ausführlich erläutert werden: Der Quarz bildet mit C9 und R26 einen RC-Generator, der angestoßen werden muß, um zu schwingen. Wird die Spannung angelegt, dann nimmt das NAND-Gatter N 1, das als Inverter geschaltet ist, einen nicht vorherzusagenden Zustand ein. Gehen wir davon aus, daß am Ausgang Pluspotential anliege. Über R36 gelangt dieses Plus an die beiden Eingänge von N 1. Da es sich um einen Inverter handelt, geht sein Ausgang auf Minus. Damit wird aber auch sein Eingang sofort wieder Minus, und dieses blitzschnell ablaufende Wechselspiel stößt den RC-Kreis immer mit an. Durch den vorgegebenen Quarz kann der RC-Kreis nur auf der vorgegebenen Frequenz schwingen. Die-

se Frequenz wird am Ausgang von N 1 abgenommen. Wer sich die Mühe macht, mit einem Oszilloskop an die Schaltung heranzugehen, der wird feststellen, daß hier keine Rechteckimpulse entstehen, sondern Impulse mit (verschliffenen) Flanken. Da wir die 1 MHz aber für Meßzwecke verwenden wollen, schalten wir das Gatter N 2 hinterher. N 1 und N 2 können sowohl einfache NAND-Gatter z. B. eines CD 4011 sein, besser jedoch ist ein NAND-Schmitt-Trigger wie bei der integrierten Schaltung CD 4093, denn er liefert steilere Flanken.

Die nächsten integrierten Schaltungen sind nicht jedem Hobby-Elektroniker unbedingt bekannt, aber handelsüblich und leicht zu beschaffen. Es sind Teiler, die in Verhältnisse 1000:1, 100:1 und 10:1 teilen. Die IS ist so aufgebaut, daß ein Eingangsimpuls dreimal durch 10 geteilt wird und an 3 Ausgängen abgegriffen werden kann. Für unsere Zwecke eignet sich diese IS hervorragend, zumal sie keine aufwendige äußere Beschaltung benötigt. Im Anhang ist die IS abgebildet, hier seien deshalb nur die Funktionen der verschiedenen Ein- und Ausgänge erläutert.

Die IS hat 8 Anschlüsse, ist also relativ klein. Es ist ein CMOS-Baustein, daher mit Vorsicht zu behandeln und nicht an den Beinchen anzufassen! Die IS sollten in leitendem Moos-Gummi oder in Stanniolpapier eingewickelt aufbewahrt werden.

Anschluß 2 und 3 sind die Eingänge. Liegt einer dieser Eingänge auf Minuspotential, ist der andere Eingang gesperrt, bei Pluspotential nimmt er die Impulse an. Liegt Anschluß 2 auf Plus, werden am Eingang 3 die Impulsübergänge von Minus nach Plus gezählt. Liegt Anschluß 3 an Plus, werden bei 2 die Übergänge von Minus nach Plus gezählt. Also jedesmal die aufsteigende Flanke. Das mag für andere Schaltungen, bei denen es sehr genau sein muß, zu berücksichtigen sein. Für uns ist es nicht von Bedeutung. Wir legen Anschluß 3 an Plus und zählen über den Anschluß 2. 1 ist der Plus-, 8 der Minus-Versorgungsanschluß der IS.

Anschluß 4 ist der Reseteingang. Er liegt im Betrieb an Minus, bei einem Plusimpuls setzt er den Zähler zurück. Bleibt er an Plus, wird nicht weitergezählt. Mit C10 (C11) und R37 (R38) legen wir den Anschluß fest. Wird die Spannung eingeschaltet, lädt sich C kurzzeitig um und gibt dem Reseteingang einen kurzen Plusimpuls, der Zähler wird auf Null gesetzt. C sperrt wieder, und nun liegt der Anschluß 4 über R an Minus, der Zähler zählt.

Es bleiben nur noch 3 Anschlüsse übrig, und das sind die 3 Ausgänge. An

7 erscheint die Frequenz geteilt durch 10, an 5 geteilt durch 100 und an 6 geteilt durch 1000. Vom Anschluß 6 des IS 6 gehen wir auf den Eingang 2 des IS 7. Hier ist die Beschaltung identisch und somit auch die Wirkungsweise. Mit dieser einfachen Schaltung haben wir einen hochstabilen Quarzgenerator mit 7 Ausgängen. 1 MHz, 100, 10, 1 kHz, 100, 10 und 1 Hz.

Die 7 Frequenzen geben wir auf den Schalter SCH 2. Es ist wieder ein Lorlin-Schalter mit 12 Stellungen, den wir hier auf 7 Raststellungen einstellen. Vom Mittelabgriff des Schalters gehen wir noch einmal auf 2 NAND-Gatter. Dies aus 2 Gründen. Der erste ist, noch einmal die Flanken zu verbessern. Der zweite ist die Belastungsfähigkeit der IS 6 und 7. Sie ist sehr gering. Schon ein Anschluß an einen Frequenzzähler ohne hohen Eingangswiderstand und Vorverstärker läßt die Impulse zusammenbrechen. Und wir benötigen doch sogar einen TTL-Pegel. Was bedeutet TTL-Pegel?

Dieser Begriff hat sich eingebürgert, obwohl er nicht ganz richtig ist. TTL bedeutet Transistor-Transistor-Logik und deutet darauf hin, daß eine bestimmte IS nur mit Transistoren aufgebaut ist, im Gegensatz zur DTL (Dioden-Transistor-Logik), RTL (Widerstand-Transistor), RCTL (Widerstand-Kondensator-Transistor) und anderen Bausteinen. Mit wenigen Ausnahmen, wie z. B. RTL (3 Volt), benötigen alle diese Logik-Familien-Bausteine eine Spannung von 5 Volt. Doch alle diese Bausteine werden nicht mehr viel verwendet, es gibt nur noch die TTL-IS, eben die Serie 74XX und die CMOS-IS, die mit einer Spannung zwischen 3 und 15 Volt betrieben werden können. So hat sich der Begriff TTL-Pegel für 5 Volt Impulsspannung eingebürgert. Unsere Bausteine in dieser Schaltung hier sind alles CMOS-IS, sie könnten auch mit 15 Volt, die SAJ 141 (IS 6 und 7) sogar mit 20 Volt betrieben werden. Dies ist aber für IS der 74er Reihe wieder zuviel. Darum betreiben wir die gesamte Schaltung nur mit 5 Volt. Dazu ist IS 8 als Festspannungsregler vor diese Schaltung gesetzt. An Punkt V nach dem N4 stehen daher die Impulse mit einer Höhe von 5 Volt zur Verfügung. Damit können nun sowohl IS der 74XX als auch CMOS angesteuert werden.

7.1 Der Aufbau des Quarzgenerators

Wir bestücken nun die Platine mit den restlichen Bauteilen und müßten dann die Stückliste komplett abgehakt haben. Vergessen wir nicht die 9 Lötnägel und die eine Drahtbrücke, außerdem: Die IS richtig herum einsetzen und den Tantalelko C12 richtig polen! Der Quarz hat keine Polung, es muß auch nicht dieselbe große Ausführung wie auf dem Foto sein, es gibt auch kleinere, die preiswerter sind. Der Kondensatortrimmer sollte natürlich auch richtig angeschlossen werden, was aber durch die Stellung der Bohrlöcher vorgegeben ist.
Von den Lötnägeln N bis U stellen wir die Verbindung zu dem Lorlin-Schalter mit Litzen her. Der Aufbau ist somit fertig, doch wie ist es nun mit dem Abgleich?
Steht ein Frequenzmesser zur Verfügung, ist der Abgleich einfach. Der Schalter SCH 2 wird auf 1 MHz geschaltet und an V und L der Frequenzmesser angeschlossen. Mit C9 wird nun genau auf 1 000000 Hz abgeglichen. Sollte das nicht möglich sein, muß dem C9 ein kleiner Kondensator von 22 oder 39 pF parallelgeschaltet werden, dann geht es einwandfrei.
Nach diesem Abgleich stimmen dann alle Bereiche, da die IS SAJ 141 sehr präzise arbeiten. Doch nicht jeder Hobby-Elektroniker hat einen Frequenzmesser oder die Möglichkeit, einen auszuleihen – obwohl er schon preiswert und einfach aufzubauen ist. Es gibt noch einen anderen Weg, der aber sehr umständlich und zeitraubend ist.
Wir stellen den Schalter auf 1 Hz. An V und L schließen wir nun eine LED mit einem Vorwiderstand von 180 Ohm an. Diese LED leuchtet im 1-Hz-Takt auf. Mit einer Stopp-Uhr bewaffnet, zählen wir 1000 Impulse ab. Haben wir dazu 1000 Sekunden benötigt, stimmt die Einstellung. Sonst muß C9 verstellt und noch ein- oder zweimal gezählt werden.
Wir stellen dabei fest, daß wir bei weniger als 1000 Impulsen keine Differenz haben. Wenn Differenzen auftreten, dann erst ab 1000 Impulsen. Wir sagten schon, daß die Quarze eine Toleranz von maximal 0,005 % haben, normal sind es aber nur 0,00001 %. So könnte es sein, daß statt 1000 Impulsen in den 1000 Sekunden 1001 oder 999 Impulse gezählt werden. Wie gesagt: Es könnte sein, muß aber nicht, und wird es meistens auch nicht. Die aufgebauten Mustergeräte wurden an 2 verschiedenen Frequenzzählern nachgemessen. Beide Frequenzzähler

konnten noch eine Frequenz von 0,1 Hz anzeigen, und mit C9 war eine Einstellung auf 1000,000 Hz einwandfrei möglich. Die schlechteste Einstellung ergab an einem der Geräte 1000,053 Hz. Das sind 0,00005 % Toleranz! Ist also kein Frequenzzähler vorhanden, dann kann man durchaus überlegen, ob man den umständlichen Abgleich mit der LED wirklich durchführen muß, denn die geringe Abweichung kann durchaus hingenommen werden. Besser ist es dann aber, den größeren Quarz zu verwenden, der genauer ist als die kleinen Ausführungen. Er ist allerdings auch dreimal teurer und kostet um 20,– DM herum. Auch ohne den ganz genauen Abgleich können nun z. B. die selbstgebauten Digitaluhren kontrolliert werden: Bei dieser Toleranz ergeben sich Abweichungen von rund 20 Sekunden im Monat, und dies wird auch bei teuren Quarz-Uhren als normal angesehen.
Es gibt noch eine dritte Möglichkeit, da auch mit einem Oszilloskop, an dem Frequenzen präzise abgelesen werden können, der Generator eingestellt werden kann.
Oszilloskope haben ein Raster. Dieses Raster ist in Quadrate von 1 cm^2 (seltener 0,5 cm^2) aufgeteilt. Dann ist noch ein Knopf vorhanden, mit dem die Zeitbasis eingestellt wird. Die Einstellmöglichkeit der Zeitbasis ist je nach Preisklasse des Oszilloskops unterschiedlich, sie kann nur 5, aber auch 20 Unterteilungen haben. Die Teilstriche sind u. a. mit ms/cm bezeichnet, d. h. der Kathodenstrahl wird auf der Horizontalen je entsprechende Anzahl ms um 1 cm ausgelenkt. Da 1 kHz 1000 Schwingungen pro Sekunde sind und somit eine Schwingung pro Millisekunde erfolgt, kann die Frequenz direkt am Bildschirm ausgemessen werden. Man schließt das Oszilloskop an V und L an. Die Zeitbasis stellt man auf die 1 ms/cm, den Schalter SCH 2 unseres Generators auf 1 kHz. Auf dem Bildschirm muß nun auf jedem Zentimeter ein Impuls stehen. Hat der Bildschirm z. B. eine Breite von 10 cm, so sollen genau 10 Impulse abgebildet werden.

8. Funktionsgenerator mit sehr breitem Frequenzband

Mißerfolge soweit zu verkraften, daß man wieder von vorne beginnt, ist nicht einfach. Der Anfänger in der Hobby-Elektronik ist hiervon besonders betroffen. Warum der angehende Hobby-Elektroniker nicht mit dem Aufbau eines Netzgerätes beginnt, wird wohl nie zu ergründen sein. Und nicht selten wagt er sich sofort an den Nachbau einer komplexen Schaltung. Funktioniert der Nachbau nicht, steht er dem Aufbau ziemlich hilflos gegenüber. Hier gibt es nichts, das man ölen, nachfeilen oder festnageln könnte. Die Funktion der Schaltung ist unsichtbar. Es sei denn, es stehen entsprechende Meßgeräte zur Verfügung. Diese sind nicht billig, und hier wird, gerade zu Beginn der Hobby-Tätigkeit, gespart. Das ist falsch. Das Material zur Erstellung der Schaltung hat ja auch seinen Preis. Funktioniert diese dann nicht und wandert in eine Ecke, ist es häufig der teuerere Weg. Das fehlende Erfolgserlebnis und der Geldverlust haben darum schon viele wieder von diesem schönen Hobby abgebracht.
In Zeitschriften und Büchern veröffentlichte Schaltungen sind im allgemeinen nachbausicher. Sie sind nicht nur einfach entworfen worden, sondern komplett erstellt und geprüft. Wenn hier Fehler auftauchen, sind diese bei der Druckvorbereitung entstanden und bei der Korrektur übersehen worden. Diese Möglichkeiten sind aber so gering, daß davon ausgegangen werden kann, die angegebene Schaltung ist richtig. Funktioniert der eigene Nachbau nicht, soll daher nicht gleich die Schaltung in Frage gestellt werden. Mit größerer Wahrscheinlichkeit ist der Fehler beim eigenen Aufbau entstanden. Doch, wo suchen? Es ist nicht der Sinn des Elektronik-Hobbys, nun zu einem solch ausgekochten Profi zu werden, der es mit jedem ausgebildeten Elektroniker aufnehmen kann, obwohl diese Fälle nicht selten sind. Doch etwas Wissen um die Elektronik sollte auch der Anfänger dieses Hobbys haben. So ist es unerläßlich, mehr oder weniger Theorie zu pauken. Literatur, auch preiswerte, gibt es genug. Es muß nicht sein, daß es immer noch Hobby-Elektroniker gibt, die nicht einmal den Farbcode der Widerstände kennen. Der größte Teil der Autoren elektronischer Bücher und Artikel kalkuliert einen fehlerhaften Schaltungsnachbau mit ein. Es wird daher immer angegeben, wie Fehler gesucht und gefunden werden können. Das geht nun wieder natürlich nicht ohne entsprechende Meßgeräte.

Doch auch dann, wenn die Schaltung funktioniert, ist man oft enttäuscht. Das soll alles sein? Mehr bringt die Schaltung nicht?
Gemeint sind hier nicht die kleinen Spielerei-Schaltungen. Eine kleine Sirene aufzubauen oder eine Leuchtdiode zum Blinken zu bringen ist nicht schwierig. Und mehr als heulen oder blinken kann die Schaltung eben nicht. Gemeint sind hier die wirklich komplexen Schaltungen.
Vom Entwickler werden die Schaltungen meist unter optimalen Bedingungen erstellt. Ein Ausweichen auf Ersatztypen verschiedener Bauteile bringt schon eine gewisse Änderung im Ablauf der Funktion mit sich. Doch auch dann, wenn die gleichen Bauteile verwendet werden, ist immer noch eine Optimierung der Schaltung durch Abgleich oder Einstellung notwendig. Dies trifft besonders beim Nachbau von Verstärkerschaltungen zu. Gute HI-FI-Anlagen haben ihren Preis, und so ist es verständlich, wenn hier durch einen Selbstbau Geld eingespart werden soll. Schaltungen zum Nachbau gibt es viele, von einfachen Verstärkern bis zu kompletten Stereo-Anlagen, bei denen das Material dann auch schon wieder einige Hunderter kostet. Die einwandfreie Funktion solcher Schaltungen steht und fällt aber mit einer exakten Einstellung und einem genauen Abgleich.
Eines der Hilfsmittel dazu ist ein Funktionsgenerator. Mit ihm wird der Frequenzgang und der Frequenzbereich ausgemessen. Gute HI-FI-Verstärker haben einen Frequenzbereich von 5 Hz bis 70000 Hz und einen Wiedergabe-Frequenzgang von 10 oder 12 Hz bis 50000 Hz. Üblich ist ein Frequenzgang von 20 Hz bis 30000 Hz; bei käuflichen Geräten bilden diese die gehobene Preisklasse. Mittelmäßige Verstärker haben „nur" einen Frequenzgang von 30 oder sogar 50 Hz bis 20000 Hz. Diese Werte werden – bei fertigen Geräten – mit dem Funktionsgenerator überprüft oder eingestellt. Bei Stereo wird der Frequenz-Gleichlauf beider Kanäle eingestellt. Klirrfaktoren können gemessen werden, vorausgesetzt natürlich, es ist ein entsprechendes Meßgerät vorhanden, und der Funktionsgenerator besitzt selbst nur einen niedrigen Klirrfaktor. Doch nicht nur Verstärker können überprüft werden. Auch Lautsprecherboxen werden oft selbst gebaut, und diese können dann genauso nachgemessen werden. Dies soll nicht bedeuten, daß damit der Verwendungszweck des Funktionsgenerators schon zu Ende wäre. Der Einsatzbereich dieses Gerätes ist so groß, daß es in keinem Hobby-Elektroniklabor fehlen sollte. Mit ihm können die Wechselspannungsbereiche von Meßinstrumenten über-

prüft und – falls der Generator sehr genau abgeglichen ist – auch eingestellt werden. Frequenzzähler werden mit ihm kalibriert, Oszilloskope überprüft und eingestellt. Der Funktionsgenerator dient aber auch als frequenzgenauer Taktgeber für digitale Zählschaltungen, oder es wird für solch eine Zählschaltung erst einmal die optimale Taktfrequenz ermittelt, die dann mit einem anderen Oszillator realisiert wird usw.
Um all diesen Anforderungen gerecht zu werden, muß der Funktionsgenerator selbstverständlich einige Bedingungen erfüllen:

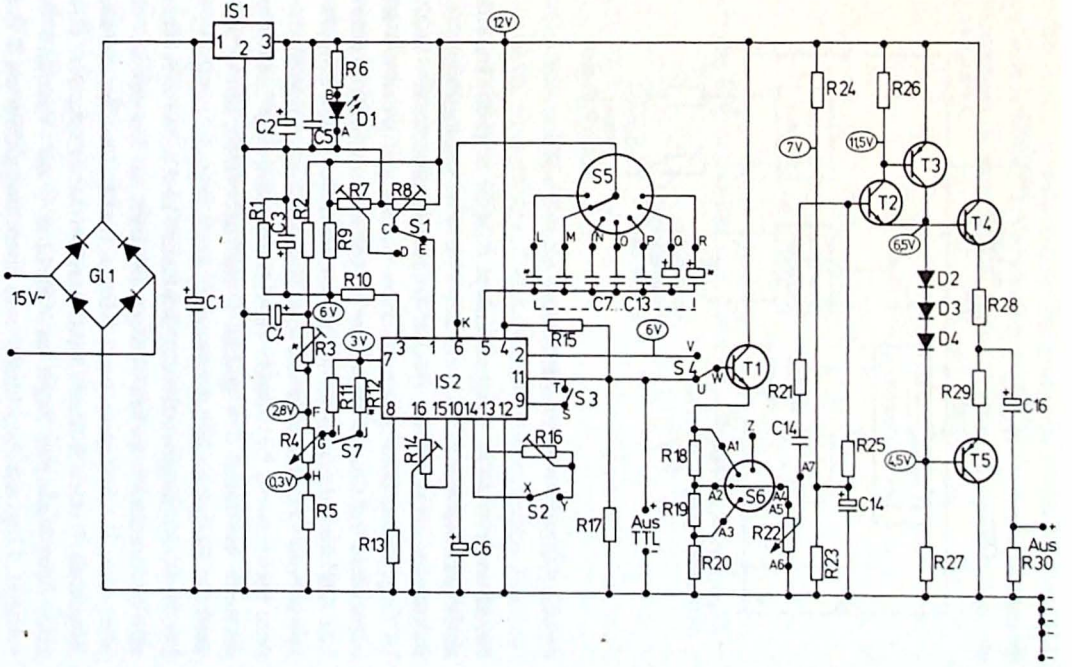
1. Der Frequenzbereich muß linear und die eingestellte Frequenz sehr genau und gut ablesbar sein.
2. Der Klirrfaktor sollte besser als 1 % sein.
3. Der Ausgang sollte niederohmig sein, um auch Lautsprecher anschließen zu können.
4. Die Ausgangsleistung sollte einstellbar sein, möglichst in mehreren Bereichen und mit geraden Voltzahlen, z. B. von 0 bis 1 oder 2 Volt usw.
5. Es sollten zumindest Rechteck- und Sinusform vorhanden sein.

Der nachfolgend beschriebene Funktionsgenerator erfüllt diese Forderungen. Er ist in 7 Bereichen von 0,1 Hz bis 1000 kHz einstellbar, und mit einem Umschalter ist die Frequenz in einigen Bereichen zu verdoppeln. An Impulsformen besitzt er einen symmetrischen Rechteck-, Sinus- und Dreieckimpuls, einen Sägezahn- und einen unsymmetrischen Rechteckimpuls. Außerdem einen symmetrischen und unsymmetrischen Rechteckimpuls mit TTL-Pegel. Die Ausgangsspannung ist linear in 3 Bereichen einzustellen, von 0 bis 10 mV, von 0 bis 100 mV und von 0 bis 1 Volt effektiv. Sie könnte auch auf den doppelten Wert eingestellt werden, was dann aber zu Lasten des Klirrfaktors ginge.

8.1 Die Schaltung des Funktionsgenerators

Bild 21 zeigt die komplette Schaltung des Funktionsgenerators. Der für die verschiedenen Impulsformen maßgebliche Baustein ist die IS XR 2206. Diese IS ist speziell dafür entwickelt worden, bei unterschiedlicher Beschaltung und Ansteuerung verschiedene Impulsformen in mehreren Frequenzbereichen zu erzeugen. Die genaue Tabelle über Daten und

Bild 21: Schaltplan des Funktionsgenerators.



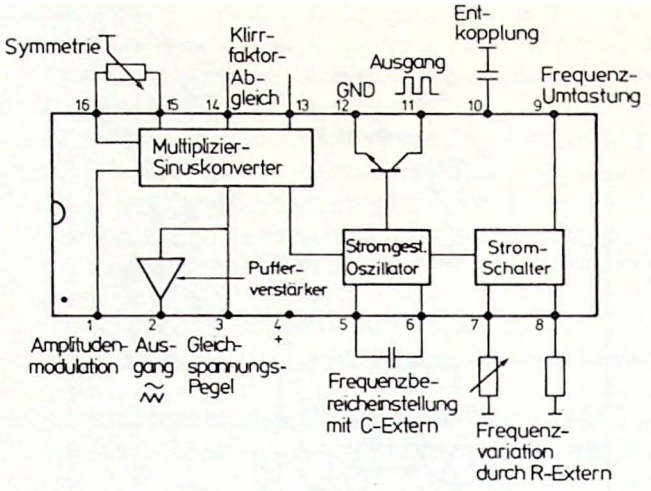


Bild 22: Blockschaltplan des Innenlebens der IS XR 2206.

Funktionen ist im Anhang zu finden. *Bild 22* zeigt das Innenleben der IS als Blockschaltbild. Das Herz der IS ist der stromgesteuerte Oszillator. Bekannter ist wohl der Begriff spannungsgesteuerter Oszillator, auch VCO genannt. Häufig stimmt diese Bezeichnung nicht. Viele dieser so benannten Schaltungsvorschläge zeigen einen stromgesteuerten Oszillator. Auf die Unterschiede wollen wir aber hier nicht eingehen.

Die Frequenz des Oszillators wird von einem externen Kondensator und dem Steuerstrom bestimmt. Vereinfacht dargelegt heißt das: der Kondensator bestimmt den groben Frequenzbereich, mit dem Steuerstrom wird die Frequenz fein eingestellt.

Die Stromausgänge sind die Anschlüsse 7 und 8. Diese Ausgänge werden mit Widerständen an Minus angeschlossen, so daß der Strom von der IS über die Widerstände nach Minus fließt. Ob der Strom über den Anschluß 7 oder 8 fließt, bestimmt der Stromschalter. Dieser wird je nach dem logischen Pegel an Anschluß 9 auf Anschluß 7 oder 8 geschaltet. Liegt am Anschluß 9 eine Spannung größer als 2 Volt, wird Anschluß 7 aktiviert, ist die Spannung kleiner als 2 Volt, ist 8 durchgeschaltet. Wir werden diese Eigenschaften auch in unserer Schaltung ausnutzen und noch näher besprechen.

Die für den Steuerstrom notwendige Spannung von 3 Volt wird intern in der IS erzeugt und stabilisiert. Verwenden wir alle diese Angaben, um die mögliche Frequenz zu berechnen. Dazu gilt zuerst einmal folgende Formel:

$$\text{Frequenz} = \frac{\text{Steuerstrom}}{3 \cdot C_{ext}}$$

Berücksichtigen wir die 3 Volt, ergibt sich die Formel:

$$\text{Steuerstrom} = \frac{3\ \text{Volt}}{R_{ext}}$$

Wandeln wir die Formel weiter um, dann erhalten wir:

$$\text{Frequenz} = \frac{1}{R \cdot C}$$

Die maximalen Werte der externen Widerstände sind 1 Kiloohm und 10 Megaohm, typisch sind 10 bis 100 Kiloohm. Die externen Kondensatoren können zwischen 100 pF und 100 µF gewählt werden. Damit ergibt sich eine Frequenzvariation zwischen 0,1 Hz und 1 MHz. Diese extreme Frequenzbreite ist möglich, ob sie aber immer ideal ist, werden wir noch untersuchen.
Die Anschlüsse 13 bis 16 bestimmen den Klirrfaktor, die Symmetrie, die Amplitudenhöhe und ob am Ausgang ein Sinussignal oder ein Dreieckimpuls abgenommen werden kann. Wie außerdem noch andere Impulsformen entstehen, werden wir noch besprechen.
Die zu erreichende Frequenzgenauigkeit beträgt 1,5 bis 2 %. Die Frequenzabweichung bei Spannungsänderungen beträgt 0,01 % pro Volt Änderung. Der Klirrfaktor kann bei gutem Abgleich bis auf 0,5 % gedrückt werden, ohne Abgleich liegt er immerhin noch bei nur 1,5 % (weitere Daten im Anhang).
Mit solchen Werten kann sich dieser Funktionsgenerator durchaus mit kommerziellen Geräten messen. Je genauer der Abgleich, um so besser werden die Werte eingehalten.
Bei so vielen Vorteilen erhebt sich schnell die Frage: Wo sind die Nachteile? Leider sind auch diese vorhanden. Sie werden jedoch durch bestimmte Maßnahmen in der Beschaltung weitgehendst ausgeschaltet.

Da ist zuerst folgender Punkt zu nennen. Mit „C-extern" wird der Frequenzbereich eingestellt. Dieser Kondensator sollte eine kleine Toleranz haben, sonst bereitet der Abgleich später doch einige Schwierigkeiten, wenn nicht besondere Vorkehrungen getroffen werden. Wie dies geschehen kann, werden wir noch sehen. Mit „R-extern" wird die Frequenz innerhalb des Bereiches variiert. Ideal wäre nun, wenn mit dem Widerstand, der dann als Potentiometer ausgeführt ist, bei einem Kondensator mit geradem Wert, z. B. 100 nF, eine Dekade genau überstrichen werden könnte. Dann könnten zur genauen Ablesung der eingestellten Frequenz einfache Skalen verwendet werden. Doch ist dies ohne einen erheblichen Aufwand schlecht zu realisieren. Hier müßte dann mit einem umfangreichen Tastenfeld jeder Bereich für sich abgeglichen werden. Zwar werden wir dies in gewissem Maße auch hier durchführen, doch nicht so umfangreich, wie es eigentlich notwendig wäre. Warum dies so ist, zeigt *Bild 23*. Die Frequenzlinearität ergibt sich ja aus der Formel $1/R \cdot C$. Wir wollen nur den Widerstand veränderlich machen, und dabei entsteht keine Gerade, wie es die gestrichelte Linie andeutet, sondern eine Kurve, eine Hyperbel. Wir können das ganz einfach nachrechnen. Als Kondensator werden wir einen Wert von 100, 1000 oder 10000 ver-

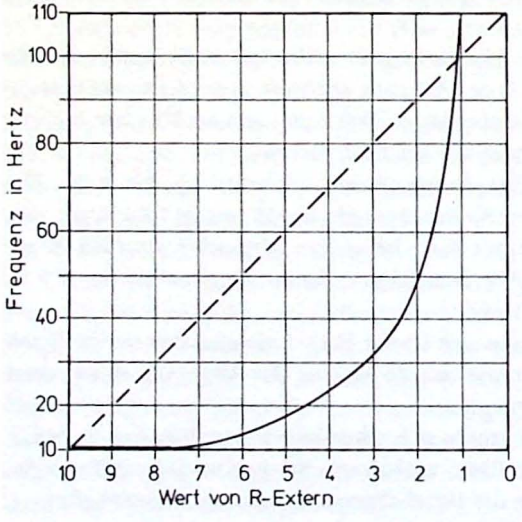


Bild 23: Verfälschung der Frequenz bei einfacher Beschaltung mit einem regelbaren Widerstand am Anschluß 7 der IS XR 2206.

wenden. Darum können wir diesen unberücksichtigt lassen und unterdrücken auch alle Nullen; somit erhalten wir immer eine 1. Den Wert des Widerstandes nehmen wir mit 10 an, ob nun Ohm oder Kiloohm, ist nicht von Bedeutung. Diesen Widerstand unterteilen wir in 10 Werte (also von 10 bis 1) und berechnen nun mit der Formel: 1 geteilt durch 10; 1 : 9; 1 : 8 usw. bis 1 geteilt durch 1. Wir erhalten dann die Werte:
0,1 0,111 0,125 0,142 0,166 0,2 0,25 0,333 0,5 und 1
Lassen wir auch hier die vorlaufenden Nullen und die Kommas fort, erhalten wir die Hyperbel aus *Bild 23*. Abhilfe könnte hier nur ein logarithmisches Potentiometer schaffen, es muß dann aber ein umgekehrt logarithmisches sein. Diese sind zwar handelsüblich, ideal ist eine solche Lösung aber nicht. Wir gehen einen anderen Weg.
Wir haben schon erwähnt, daß am Anschluß 7 bzw. 8 eine konstante Spannung von 3 Volt ansteht und daß hier der Steuerstrom über den Widerstand nach Masse fließt. Dieser Steuerstrom ist proportional zur Ausgangsfrequenz. Ändern wir diesen Steuerstrom linear, muß sich auch die Frequenz linear ändern. Dies schaffen wir mit einem kleinen Schaltungstrick.
In unserer Schaltung, *Bild 21*, bilden die Widerstände R2 bis R5 einen erweiterten Spannungsteiler. Maßgebend ist die Spannung, die am Schleifer des Potentiometers R4, also an Punkt G, anliegt. Richtig abgeglichen läßt sich über R4 eine Spannung zwischen 2,8 und 0,3 Volt einstellen. Die hier in der Schaltung angegebenen Widerstandswerte sollten nicht geändert werden, auch wenn es bei näherer Betrachtung der Schaltung und der Formeln so erscheint, als ob mit anderen Werten die Einstellung doch zu einer dekadischen Teilung gebracht werden könnte. Wie bereits gesagt, ist dies ohne ein umfangreiches Ändern weiterer Bauteile nicht möglich. Dazu kommt noch, daß die Spannung am Punkt G selbst nie über 3 Volt ansteigen darf. Sonst fließt der Strom umgekehrt, in die IS zurück, und sie würde sofort zerstört.
Die am Punkt G stehende Spannung bestimmt den Spannungsabfall an dem Widerstand R11. Nach dem Ohmschen Gesetz besteht zwischen Spannungsabfall und Stromänderung ein linearer Zusammenhang. Wir können nun mit einem linearen Potentiometer (R4) eine lineare Ausgangsfrequenz mit einer linearen Anzeige auf einer Skala erreichen.
Zum Beweis wollen wir die folgenden Formeln anwenden und eine Tabelle aufstellen.

Foto 5 Meßwertgeber in Aktion. Das Oszillografenbild zeigt eine Dreieckspannung des Funktionsgenerators.

$$\text{Steuerstrom} = \frac{\text{3 Volt minus Spannung am Punkt G}}{\text{R11 (8,2 Kiloohm)}}$$

Umgestellt ergibt sich dann weiter:

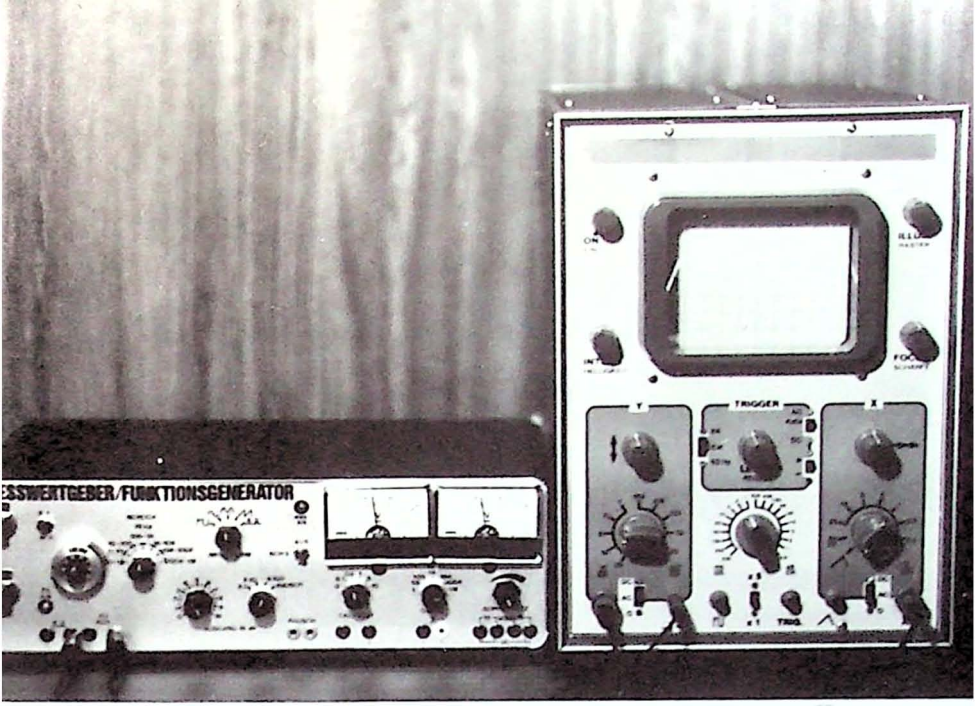
$$\text{Frequenz} = \frac{\text{3 Volt minus Spannung am Punkt G}}{3 \cdot \text{R11 (8,2)} \cdot C_{ext}\ (1)}$$

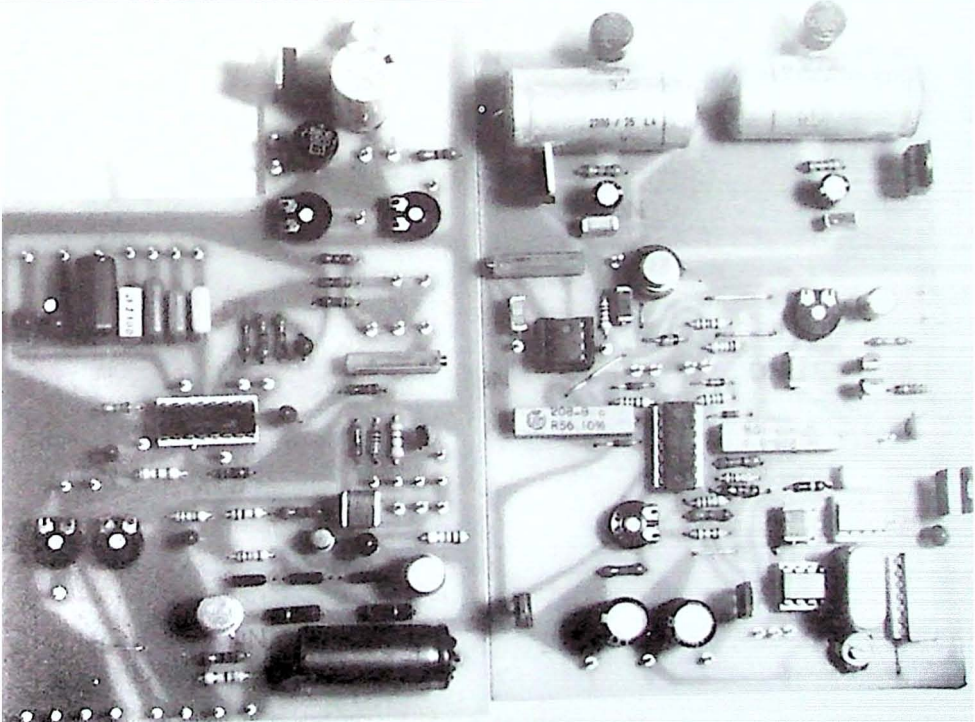
Für C nehmen wir auch hier zur Vereinfachung wieder den Wert 1.

Spannung an Punkt G	Spannungsabfall an R11	Steuerstrom	Frequenz
2,8	0,2	2	1
2,55	0,45	5	2
2,3	0,7	8	3
2,05	0,95	11	4
1,8	1,2	14	5
1,55	1,45	17	6
1,3	1,7	20	7
1,05	1,95	23	8
0,8	2,2	26	9
0,55	2,45	29	10
0,3	2,7	32	11

Auch bei dieser Tabelle sind vorlaufende Nullen und Kommas nicht berücksichtigt, so ist sie übersichtlicher.
Es wird auffallen, daß die Frequenzwerte und der Steuerstrom linear verlaufen, die anderen Werte aber sehr „krumm" sind. Darüber hinaus geht die Frequenz von 1 bis 11. Nun, die Tabelle wurde etwas von „rückwärts" aufgebaut, um gerade Frequenzwerte zu erhalten. Warum die Teilung durch 11 notwendig ist, soll die nächste Tabelle zeigen, die eine Teilung durch 10 berücksichtigt.

Foto 6 Vorzugsweise Anordnung der beiden Platinen des Meßwertgebers in einem Gehäuse wie es auf Bild 5 zu sehen ist.


ESSWERTGEBER/FUNKTIONSGENERATOR
TRIGGER



EIN
AUS

Foto 7 Komplett bestückte Platine der Frequenzanzeige. Bis auf die Anzeige selbst sind alle Teile der Bilder 33 bis 37 auf ihr vereint.

Spannung an G	Spannungsabfall an R11	Steuerstrom		Frequenz
2,8	0,2	0,02	0,008	= 1
2,522	0,478	0,05	0,019	= 2
2,244	0,756	0,09	0,030	= 3
1,966	1,034	0,13	0,042	= 4
1,688	1,312	0,16	0,053	= 5
1,41	1,58	0,19	0,065	= 7
1,132	1,868	0,22	0,076	= 8
0,854	2,146	0,26	0,087	= 9
0,576	2,424	0,30	0,098	= 10
0,298	2,702	0,33	0,109	= 11

Es geht also nicht, die 11 bleibt immer erhalten. Auch für R11 muß der Wert von 8,2 Kiloohm eingehalten werden, sonst läuft die Frequenz zwar linear, aber nicht im Bereich von 1 bis 11, sondern von 0,9 bis 10 (bei 9,1 Kiloohm) oder von 2 bis 12 (bei 6,8 Kiloohm). Und dann wird es mit einer Skala noch schwieriger. Die meisten Skalen haben eine Teilung von 0 bis 10, das entspricht ja 11 Stellen. Diese können wir dann verwenden und nur die Ziffern jedesmal um 1 erhöhen.

Den zweiten Punkt (Fehlerpunkt) wollen wir schon einmal kurz vorweg behandeln, wir kommen später nochmals darauf zurück. Der Frequenzumfang der IS XR 2206 ist mit 0,1 Hz bis 1 MHz angegeben. Nach der ersten Tabelle ist dieser Bereich mit einer Unterteilung in 7 Grundbereiche zu überstreichen. Hier hat aber die IS gewisse Grenzen, die dann leider auch noch bei jeder IS durch Toleranzen bedingt verschieden sind. Die Endwerte werden z. B. nie ganz erreicht. Bei dem abgebildeten Mustergerät lag der untere Bereich mit 0,2 bis 1,1 Hz noch sehr gut, in anderen Geräten wurden aber auch nur 0,4 bis 1,2 Hz gemessen. Im oberen Bereich lagen alle Geräte bei 100 kHz bis rund 700 kHz. Weiter geht es nicht. Selbst eine Verdopplung mit einem noch zu besprechenden

Foto 8 So könnte die Frequenzanzeige untergebracht werden.

Schalter erbrachte nur 1202 kHz. Erst ein Auswechseln des „C-extern" auf einen niedrigeren Wert ergab 1 MHz, doch war dann die Linearität nicht mehr vorhanden. Die Skala stimmte für diesen Bereich nicht mehr. Nun sind diese beiden Bereiche sehr extrem. Ob sie Verwendung finden sollen, muß jeder selbst überprüfen. Vielleicht ist es dann doch sinnvoller, diese Bereiche nicht einzusetzen und bei 5 Bereichen zu bleiben, denn diese sind dann sehr genau abzugleichen.
Nach solchen Vorbetrachtungen wollen wir nun die Schaltung näher ansehen.
Die Schaltung hat ein eigenes Gleichrichterteil, mit einem Festspannungsregler für 12 Volt. Zwar kann IS2 in einem weiten Bereich (10 bis 16 Volt) betrieben werden, sogar mit symmetrischer Spannung, wir benötigen aber die 12 Volt, um später einen TTL-Pegel-Ausgang zu bekommen. Und die Spannung soll fest sein, da Schwankungen Frequenzänderungen bringen. Diese sind zwar gering, wie schon erwähnt, aber doch vermeidbar.
Die LED D 1 wird später zur Betriebsanzeige auf der Frontplatte befestigt, R6 ist der Vorwiderstand. C1 sollte möglichst den angegebenen Wert von 2200 µF haben, besser noch 4700 µF. Die Spannungsfestigkeit kann wieder bei 25 Volt liegen, dadurch wird dieses Bauteil klein gehalten.
Die gesamte Schaltung baut sich ansonsten um die IS 2, die XR 2206, auf. Wir erkennen die besprochenen Widerstände R2 bis R5 des Spannungsteilers. Mit R4 wird die Frequenz eingestellt. Dazu kann im Grunde jedes gute Potentiometer genommen werden. Es ist aber bekannt, daß ein Drahtpotentiometer in der Linearität besser ist als ein Kohleschichtpotentiometer. Wir wollen später die Frequenz von einer Skala genau ablesen können, also verwenden wir nach Möglichkeit ein Drahtpotentiometer, mit der kleinstmöglichen Belastbarkeit, um es auch räumlich klein zu halten. Noch genauer geht es mit einem 10-Gang-Wendel-Potentiometer, das in der gleichen Art wie ein Wendeltrimmer arbeitet. Ob es eingesetzt werden soll, ist wohl einmal eine Frage des Preises, (ca. 20,– DM) und zweitens ob eine hohe Genauigkeit gefordert wird. R4 wird an den Punkten F, G und H befestigt.
R3 ist ein Wendeltrimmer. Für ihn ist Platz auf der Platine vorgesehen. Mit diesem Trimmer wird der Bereich abgeglichen, besonders der Anfangspunkt des Bereiches, damit dieser genau von 1 oder 11 bis 10 oder

110 geht. Frequenzbestimmend sind aber auch die Kondensatoren C7 bis C13. Diese haben allerdings Toleranzen, und der aufgedruckte Wert wird selten eingehalten. Nun ergibt sich eine weitere Schwierigkeit: Stimmen wir einen Bereich mit R3 genau ab, stimmt nicht unbedingt auch der nächste Bereich. Durch die Toleranz des Kondensators verschiebt sich der Anfangspunkt wieder. Wen dieses nicht stört, der stimmt dann auf die gebräuchlichste Frequenz ab, das sind 100 Hz bis 1,1 kHz und/oder 1 kHz bis 11 kHz. Versuche haben auch gezeigt, daß die Differenzen in diesen beiden Bereichen sehr gering waren. Wer es aber ganz genau haben möchte, hat 2 Möglichkeiten: Entweder Kondensatoren mit einer Toleranz von 0,5 % einzusetzen oder jeden Bereich für sich abzugleichen. Die genauen Kondensatoren kosten bald ebensoviel wie alle anderen Bauteile zusammen. Da ist es besser, jeden Bereich für sich abzugleichen. Damit das möglich ist, verwenden wir R3 siebenmal (oder 5 x bei weniger Bereichen). *Bild 26* und *27* zeigen eine kleine Platine, die dazu verwendet und später mit dem Schalter SCH 5 zusammengeschaltet wird. So kann jeder Bereich für sich abgeglichen werden.
C4, C3 und C6 haben keinen Einfluß auf die Schaltung, sie dienen nur der Entkopplung und Siebung.
Die Kondensatoren C7 bis C13 werden auf der Platine nebeneinander angebracht und von den Punkten L bis R durch Litzen mit dem Schalter SCH 5 verbunden, von dessen Mittenabgriff wieder eine Litze zu Punkt K auf der Platine führt. Die anderen Seiten der Kondensatoren sind zusammengefaßt und mit dem Anschluß 5 der IS verbunden.
C7 bildet mit seinem Wert von 100 pF den höchsten Bereich. Versuche, ob ein keramischer Kondensator oder ein Folienkondensator besser ist, brachten keine eindeutigen Hinweise. Das sollte ausprobiert werden. Es wurde schon erwähnt, daß auch ein Wert von 91 pF möglich ist, um die 1 MHz zu erreichen.
Die nächsten Bereiche, gebildet mit den Kondensatoren C8 bis C11, können sehr genau abgeglichen werden. Es sollten Folienkondensatoren verwendet werden, möglichst mit der kleinsten Toleranz. Üblich sind solche mit 20 %; etwas teurer, aber besser die mit 10 % Toleranz. Dies sind die MKH, MKM und FKC-Typen von Siemens, MKT von Bosch und MKM bzw. FKC von WIMA. Wer die Möglichkeit hat, sollte durch Messungen die genauesten heraussuchen. Die Verwendung von Billigangeboten, meistens auch noch ohne Firmenaufdruck, sollte hier unter-

bleiben, denn bei solcher Ware haben sich schon Toleranzen bis zu 50 % (!) gezeigt.
Während für C11 noch ein Folienkondensator verwendet werden kann, ist es von der Größe her bei C12 und C13 nicht mehr möglich. Hier müssen wir Elkos nehmen und zwar Tantal-Elkos. Dies nicht nur wegen der Größe dieses Bauteils, das mit seiner Tropfenform relativ klein ist, sondern auch wegen der Toleranzen. Tantal-Elkos haben eine Toleranz von – 20 % bis + 50 % gegenüber normalen Elkos mit – 20 % bis + 100 %! Solch große Toleranzen sind bei diesen Bauteilen leider vorhanden, deshalb müssen wir die Tantals ausmessen oder durch Probieren aussuchen. Das ist zwar etwas mühselig, aber für eine genaue Angabe notwendig. C13 ergibt den niedrigsten Bereich mit 0,1 bis 1 Hz. Während der obere Bereich von 100 kHz bis 1 MHz leichter vermißt werden kann, möchte mancher den kleinsten Bereich als Taktgeber für Zählschaltungen verwenden.
Es wurde schon erwähnt, daß mit dem Schalter SCH7 die Ausgangsfrequenz verdoppelt werden kann. Im normalen Betrieb ist dieser Schalter geöffnet. Bei Schließung wird dem R11 der Widerstand R12 parallelgeschaltet. Beide Widerstandswerte sind gleich, dadurch halbiert sich der Gesamtwiderstand. Nach dem Ohmschen Gesetz verdoppelt sich dann der durch diese Widerstände fließende Strom, hier der Steuerstrom, was wieder eine Verdoppelung der Frequenz bedeutet. Dabei ist jedoch etwas zu berücksichtigen. Jede Leitung und auch der Schalter bilden einen Widerstand, der in die Rechnung mit einbezogen werden muß, womit sich der Gesamtwiderstand verändert. R12 müßte eventuell etwas kleiner gehalten werden, aber nicht mit dem nächst niedrigeren Wert von 6,8 Kiloohm, das geht nicht. Hier hilft schon die übliche Toleranz der Widerstände mit 5 %. Suchen wir einen mit der Toleranz nach unten aus, z. B. mit einem Wert von 8,05 oder 8,1 kΩ. So reicht das meistens schon aus.
Die Widerstände R1 und R9 bilden einen Spannungsteiler. Die Betriebsspannung wird genau halbiert und über R10 dem Anschluß 3 zugeführt. Diese Spannung bewirkt die Gleichspannungseinstellung für den Ausgang. Durch die Einstellung ergibt sich eine Null-Linie, um die die Impulse gleichmäßig von Plus nach Minus wechseln.
Die Trimmwiderstände R7, R8, R14 und R16 benutzen wir später zum weiteren Abgleich.

Mit R7 stellen wir die Amplitudenhöhe des Dreieck-/Sägezahnimpulses ein, mit R8 die der Sinuskurve, damit diese Impulse die gleiche Spitze-/Spitze-Spannungshöhe haben.
Mit R14 wird die Symmetrie der Dreieck-/Sinuskurven eingestellt.
Den Klirrfaktor stellen wir mit R16 ein, jedoch nur den der Sinuskurve, denn nur der ist ja maßgebend für den Wert von 0,5 %, den wir erreichen wollen. Der Klirrfaktor bezieht sich nicht auf die anderen Impulse.
Die Schalter SCH 1 bis 4 müssen in einem bestimmten Zusammenhang ein-, aus- oder umgeschaltet werden. Im einzelnen sind sie für folgende Funktionen zuständig:
Mit SCH 1 wird zwischen R7 und R8 umgeschaltet, je nachdem, ob am Ausgang die Sinuskurve steht – dann ist R8 zugeschaltet –, oder der Dreieck-/Sägezahnimpuls – dann ist R7 zugeschaltet.
SCH 2 ist eingeschaltet, wenn die Sinuskurve am Ausgang stehen soll, sonst ist der Schalter offen.
SCH 3 ist dann ausgeschaltet, wenn am Ausgang Sinus, Rechteck oder Dreieck anstehen soll. Wird er geschlossen, stehen am Ausgang Sägezahn oder asymmetrisches Rechteck.
SCH 4 schaltet Ausgang Anschluß 2 oder Ausgang Anschluß 11 der IS um. Steht der Schalter an V (Anschluß 2) können Sinus, Sägezahn oder Dreieck abgenommen werden. Steht er an U, werden Rechteck und asymmetrisches Rechteck abgenommen, jeweils abhängig von Stellung des SCH 3. Im wesentlichen sind also die Schalter SCH 3 und 4 für die Kurvenform verantwortlich.
Der Ausgang 2, auch Analogausgang genannt, liefert den Sinus- und Dreieckimpuls. Der Ausgang 11 den Rechteckimpuls. Dies jedoch nur, wenn SCH 3 geöffnet ist. Wird dieser Schalter geschlossen, bekommt der Anschluß 9 vom Ausgang 11 her Impulse. Wir haben schon erwähnt, daß der logische Pegel am Anschluß 9 die Umschaltung des Steuerstroms entweder auf Ausgang 7 oder Ausgang 8 bestimmt. Bei jedem positiven Impuls vom Ausgang 11 her schaltet die IS von 7 auf 8 um. Dann ist der Widerstand R13 maßgebend für die Impulsform. Dieses Verschieben der Form bewirkt, daß so am Ausgang 11 ein asymmetrisches Rechtecksignal und am Ausgang 2 der Sägezahn abgenommen werden kann. Diese Möglichkeit nutzen wir hier auch aus. Es wäre noch eine weitere Form denkbar. Haben wir die Schalter so eingestellt, daß der Sägezahn entsteht, können wir noch SCH 2 zuschalten. Dann erhalten wir einen Säge-

zahn mit „krummem" Rücken, da dieser nun nicht mehr aus dem Dreieck, sondern aus der Sinuskurve gebildet wird. Meßtechnischen Wert hat diese Form nicht, darum wird sie hier nicht verwendet. Wer sie interessehalber doch wünscht, kann sie durch Stellung 6 des kombinierten Schalters realisieren, denn wir benötigen ja nur 5 Stellungen.

Diese ganze Schalterei mag verwirren. Es wäre auch nicht sinnvoll, alle Schalter einzeln auszuführen, obwohl es auch möglich ist. Mit einer Kombination von Drucktasten kann dies realisiert werden. Wir wollen jedoch alle Schalter, wie eben erwähnt, kombinieren. Dazu verwenden wir einen Drehschalter mit 2 Ebenen und je 2 x 6 Stellungen. 2 x 6 deswegen, weil es Schalter mit 2 x 5 Stellungen nicht gibt. Richtig verdrahtet, erhalten wir dann in den einzelnen Stellungen des Schalters folgende Impulsformen:

1 = Rechteck symmetrisch
2 = Sinus
3 = Dreieck
4 = Sägezahn
5 = Rechteck asymmetrisch
6 = „krummer" Sägezahn (wird hier nicht aufgeführt, muß nach Wunsch selbst zusammengestellt werden)

Die Bezeichnungen symmetrisch und asymmetrisch sollen etwas erläutert werden. Richtiger ist hier der Ausdruck „Duty Cycle", der in Prozenten ausgedrückt wird und das Verhältnis der Plusphase zur Minusphase eines Rechteckimpulses bezeichnet. In Stellung 1 des Schalters besitzt der Rechteckimpuls ein gleich langes Signal im Plus- und im Minusbereich, hier ist das Tastverhältnis, eben das „Duty Cycle", 50 %. Wird der Schalter SCH 3 geschlossen, beeinflußt der Widerstand am Anschluß 8 das Verhältnis, mit dem angegebenen Wert wird das Duty Cycle rund 90 %, womit einerseits der Sägezahn und andererseits die asymmetrische Rechteckimpulsfolge entsteht. Je kleiner R13, um so steiler die Flanken des Sägezahns und um so kürzer der Minusimpuls des asymmetrischen Rechtecks. Niedriger als 1 Kiloohm sollte R13 aber nicht sein.

Die Frequenz der Sinus- Rechteck- und Dreieckimpulse kann genau eingestellt und an einer linearen Skala auch genau abgelesen werden, von 1 (10) bis 11 (110). Bei den anderen Impulsen ist das nicht möglich. Die Frequenz verschiebt sich, sie wird höher. Sie verläuft im Einstellbereich

dann wohl auch linear, aber von 1,5 (15) bis 17 (170). Diese Impulsformen sind jedoch zur Überprüfung und Einstellung von Verstärkern oder Meßgeräten nicht so interessant, sie werden zu anderen Versuchszwecken verwendet. Doch da sie durch diese IS nur mit einem Schalter leicht zu erzeugen sind, wurden sie auch in dieser Schaltung ausgeführt. Wer sie mit genauer Frequenz einsetzen möchte, muß dann über der ersten eine zweite Skala anfügen und die Werte kennzeichnen.
Im Ausgang 11 nehmen wir auch die Impulse für den TTL-Pegel ab.
Wie dem *Bild 22* zu entnehmen ist, liegt am Anschluß 11 der Kollektor des internen Schalttransistors. Dieser Kollektor ist „offen", ihm fehlt der Kollektorwiderstand, der hier von R15 gebildet wird. Mit R17 bildet dieser Widerstand aber auch einen Spannungsteiler. So kann am Ausgang „TTL" ein Rechteckimpuls mit einer Amplitudenhöhe von ca. 4,5 Volt abgenommen werden und zwar mit Impulsen oberhalb der Null-Linie! Das ist für die Anwendung dieses Impulses als Triggerimpuls, Synchronisations- oder Zählimpuls wichtig. Auch hier verändert SCH 3 das Duty-Cycle. Der Ausgang ist kurzschlußfest und kann Lasten bis zu 2 mA betreiben. Das entspricht der Aufnahme der gewöhnlichen IS der 74xx Serie, die ein FAN IN von 2 mA haben. Werden andere IS verwendet, können mehrere Eingänge angeschlossen werden. Die 74 L xx Typen haben ein FAN IN von 0,72 mA, LS Typen sogar nur 0,4 mA. Die Leistungsaufnahme von CMOS-Typen ist noch niedriger, diese können hiermit selbstverständlich auch angesteuert werden.
Mit dem Transistor T1 beginnt die Ausgangsstufe. Mit SCH 4 werden die Ausgänge 2 oder 11 auf die Basis von T1 geschaltet. T1 hat die Aufgabe, die doch recht hochohmigen Ausgänge (600 Ohm an Anschluß 2, 10 Kiloohm an Anschluß 11) an den nachfolgenden Spannungsteiler anzupassen. Er ist als Emitterfolger geschaltet. Die Spannungsteilerstufe mit dem Schalter SCH 6 und den 3 Widerständen R18, 19 und 20 unterteilt die Amplituden der Impulse in 3 Spannungshöhen im Verhältnis 1:1, 1:10 und 1:100. Diese Teilung ist genau dekadisch. Mit R 22 kann die abgegriffene Spannung verändert werden. Ist dieses Poti sehr genau (z. B. wieder ein Drahtpoti), kann auch hier mit einer Skala die genaue Spannung abgelesen werden. Die Grundhöhe der Amplituden wird ja mit den Trimmern R7 und R8 eingestellt. Doch dazu mehr bei der Beschreibung des Abgleichs. R18 bis 20 sollten für eine genaue Einstellung dann auch Widerstände mit 1 % Toleranz sein.

Die gesamte folgende Stufe bringt keine Spannungsverstärkung, sondern ist als gleichspannungsgekoppelter Impedanzwandler geschaltet. T2 und T3, in komplementärer Darlingtonschaltung, bilden wieder einen Emitterfolger und sorgen für eine niederohmige Ansteuerung der ebenfalls komplementär geschalteten Ausgangstransistoren. Die Dioden D2 bis D4 stellen die Basisvorspannung so ein, daß über die Emitterwiderstände R28 und R29 nur ein Ruhestrom von rund 35 mA fließt. Dadurch werden Verzerrungen vermieden. Über C16 werden die Impulse gleichstromfrei an den Ausgang gegeben, der ebenfalls kurzschlußfest ist. Die Ausgangsimpedanz beträgt 4 bis 5 Ohm, es können Lautsprecher also direkt angeschlossen werden.

8.2 Der Aufbau des Funktionsgenerators

Bild 24 zeigt die Leiterbahnseite der Platine. Auch hier ist die Führung der Leiterbahn wieder einfach gehalten worden. Eine Ecke der Platine ist ausgespart. Hier wurde auf die Form und Größe der meisten Gehäuse Rücksicht genommen, die im Handel zu haben sind. Ob nun beide Platinen, die des Meßwertgebers und die des Funktionsgenerators in einem Gehäuse oder getrennt in 2 Gehäusen eingebaut werden, wird jeder Hobby-Elektroniker nach seinem eigenen Geschmack bestimmen. Doch, welches Gehäuse auch verwendet wird, es gibt aus bestimmten Gründen immer Platzprobleme. Meistens sind die Gehäuse so bemessen, daß nur eine Platine, bei den großen dann zwei Platinen im Europakartenformat nebeneinander hinein passen. Wohin dann mit dem Trafo? Hierfür ist die ausgesparte Ecke vorgesehen. Der Funktionsgenerator benötigt so wenig Strom, daß beide Platinen von einem gemeinsamen Trafo versorgt werden können.
Wir beginnen auch hier, nach *Bild 25,* zuerst mit der Bestückung des Gleichrichterteils, schließen dann den Trafo provisorisch an und prüfen die Spannung hinter dem Festspannungsregler nach. Soll die Platine an einem separaten Trafo betrieben werden, genügt eine Ausführung von 2 x 12 oder 2 x 15 Volt mit 0,5 Ampere. Welche Spannung vor dem Festspannungsregler stehen muß, können wir ja nach der Formel im ersten Abschnitt dieses Buches ausrechnen.
Dann bestücken wir die Platine komplett. An den mit Buchstaben ge-

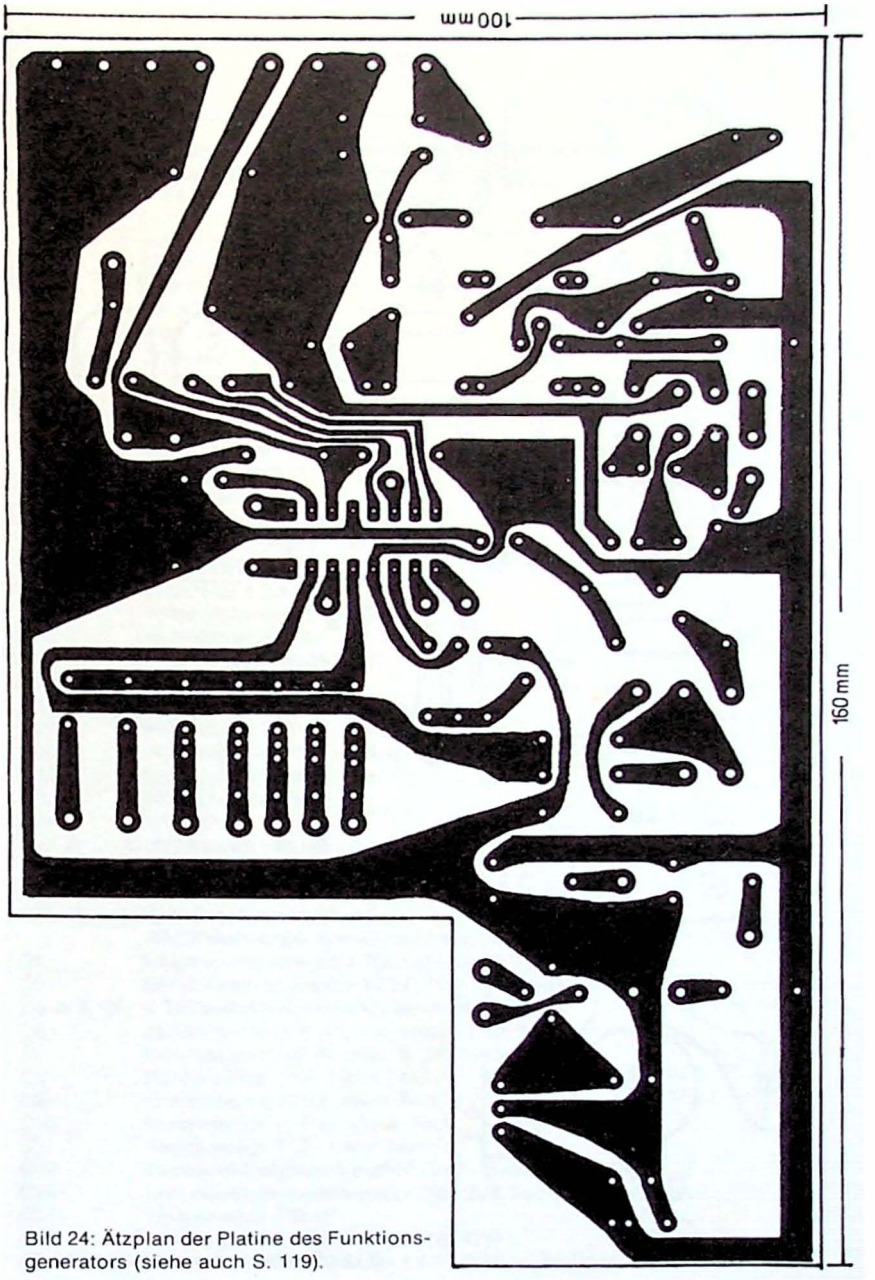


Bild 24: Ätzplan der Platine des Funktionsgenerators (siehe auch S. 119).

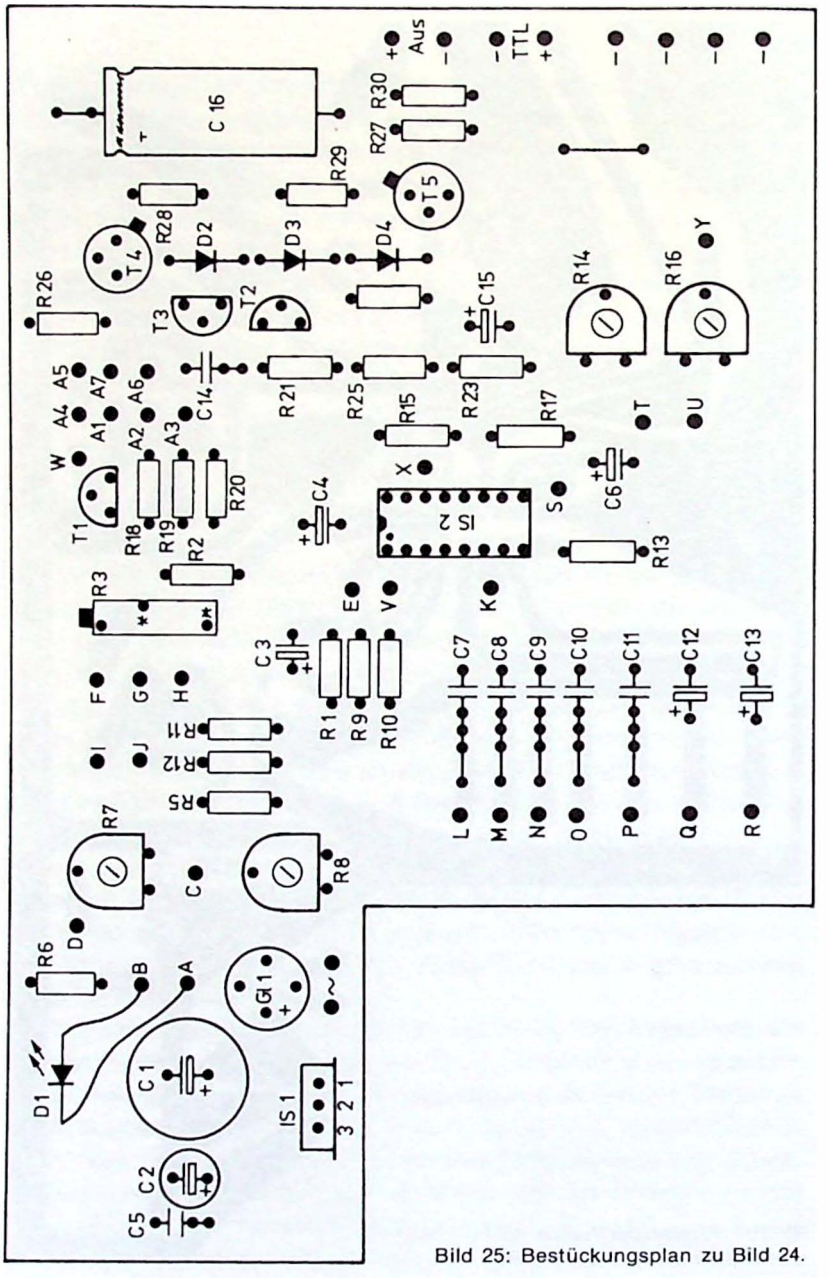


Bild 25: Bestückungsplan zu Bild 24.

Stückliste Funktionsgenerator

1	Transformator 1 x 12 Volt/0,5 A (falls gewünscht)
GL1	Brückengleichrichter rund, B 80 C 1500
IS1	Festspannungsregler für 12 Volt, 7812
IS2	Funktionsgenerator -IS, XR 2206
T1	NPN-Transistor, BC 387
T2	NPN-Transistor, BC 209 C
T3	PNP-Transistor BC 559
T4	NPN-Transistor, BC 140-16
T5	PNP-Transistor, BC 160-16
R1, 9, 21	3 Widerstände 4,7 kΩ
R2	Widerstand 1,8 kΩ
R3	Wendeltrimmwiderstand 1 kΩ, bei der Verwendung der Zusatzplatine sieben mal notwendig
R4	Potentiometer 500 Ω, Drahtausführung oder 10 Gang-Wendel, s. Text
R5	Widerstand 56 Ω
R6	Widerstand 560 Ω
R7, 8	2 Trimmwiderstände 10 kΩ
R10	Widerstand 56 kΩ
R11, 12	2 Widerstände 8,2 kΩ, Toleranz 1 oder 0,5 %, siehe Text
R13	Widerstand 2,2 kΩ
R14	Trimmwiderstand 22 kΩ
R14	Widerstand 5,6 kΩ
R16	Trimmwiderstand 470 Ω
R17, 30	2 Widerstände 3,3 kΩ
R18	Widerstand 3,3 kΩ, Toleranz 1 %
R19	Widerstand 330 Ω, Toleranz 1 %
R20	Widerstand 39 Ω, Toleranz 1 %
R22	Drahtpotentiometer 10 kΩ
R23	Widerstand 22 kΩ
R24	Widerstand 15 kΩ
R25	Widerstand 220 kΩ
R26	Widerstand 10 kΩ
R27	Widerstand 470 Ω
R28, 29	2 Widerstände 10 Ω
	Alle Widerstände, soweit nicht anders angegeben, mit 5 % Toleranz
C1	Elektrolytkondensator 2200 µF oder 4700 µF/25 V
C2	Elektrolytkondensator 10 µF/25 V oder Tantal 10 µF/16 V
C3, 4, 6, 15	4 Tantalelektrolytkondensatoren 4,7 µF/16 V
C5	Kondensator 0,15 µF, nur wenn C2 kein Tantal
C7	Kondensator 100 pF oder 91 pF, siehe Text
C8	Kondensator 1 nF, siehe Text
C9	Kondensator 10 nF, siehe Text
C10	Kondensator 100 nF, siehe Text
C11	Kondensator 1 µF, siehe Text
C12	Tantalelektrolytkondensator 10 µF, siehe Text/6 Volt
C13	Tantalelektrolytkondensator 100 µF/6 Volt, siehe Text
C14	Kondensator 680 nF
C16	Elektrolytkondensator 470 µF/25 Volt
1	Drehschalter 2 Ebenen, je 1 x 12 Stellungen *(Forts. S. 80)*

1 Drehschalter LORLIN, 3 x 4 Stellungen
1 Drehschalter 2 Ebenen, je 2 x 6 Stellungen
1 Kippschalter EIN
1 Platine 160 x 100 mm mit Aussparung
Lötnägel
2 Kühlkörper für Endtransistoren
Digitalfeintrieb oder Skalenfeintrieb oder Skala und Feintrieb.
Buchsen
Fassung für IS
Drehknöpfe
1 LED grün

Spezialbauteile wie Wendeltrimmer und Wendelpoti sowie Digitalfeintrieb sind vorrätig bei O.K. Elektronik, Bramscher Straße 248, 4500 Osnabrück, 0541/682002, oder bei den im Liefernachweis genannten Firmen.

Platinen (keine Bausätze!) können vom Verfasser bezogen werden. Friedhelm Schiersching, Postfach 1301, 4044 Kaarst 1, 02101/603587, oder von Chr. Weber, Siegen (siehe 13. Lieferverzeichnis). Preisliste gegen 1,50 in Briefmarken.

Anfragen werden vom Verfasser gerne beantwortet, wenn dem Schreiben Rückporto beiliegt.

kennzeichneten Punkten und eventuell dort, wo sonst R3 sitzt (im *Bild 25* mit Sternchen gekennzeichnet), werden Lötstifte befestigt. Für IS 2 verwenden wir eine Fassung. Ist alles eingelötet, fertigen wir die verschiedenen Schalter an.

Nehmen wir zuerst SCH 5, mit dem wir die Impulsform einstellen. Im folgenden gehen wir immer davon aus, daß alle 7 Bereiche genutzt werden sollen und daß R3 von der Platine entfernt wird. Dafür verwenden wir eine kleine Zusatzplatine, auf der wir 7 Wendeltrimmer, sozusagen 7 x R3, einlöten. *Bild 26* zeigt den Ätzplan dieser Platine, *Bild 27* den Bestückungsplan. SCH 5 ist ein Drehschalter mit 2 Ebenen und je 1 x 12 (oder auch 11) Stellungen. Schalter mit 7 Stellungen gibt es leider nicht, und einen Lorlinschalter mit Einstellung können wir hier nicht verwenden, da wir ja 2 Ebenen benötigen.

Die hintere Ebene oder die untere, wie sie auch bezeichnet wird, hat wie der Lorlinschalter nach hinten abstehende Lötösen. Diese werden, wie dort, wieder abgekniffen und abgefeilt. Die Bohrlöcher auf der kleinen Platine sind so angeordnet, daß die Spitzen genau hineinpassen. Wir löten den Schalter fest. Es werden dann die 7 Wendeltrimmer befestigt und an der Seite 2 Lötnägel. Wenn wir *Bild 27* betrachten, sind die 7 Trimmer nach unten gezeichnet. Dabei schauen wir von vorn auf die

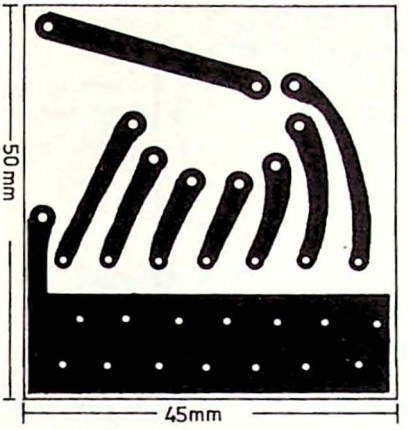


Bild 26: Ätzplan der Zusatzplatine zum Funktionsgenerator (siehe auch S. 121).

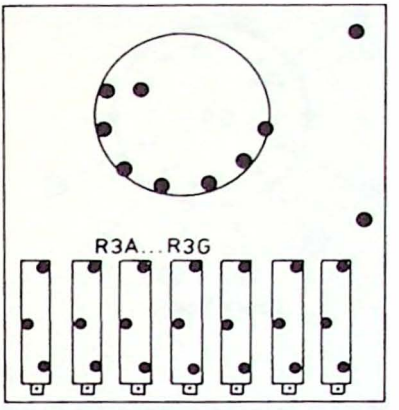


Bild 27: Bestückungsplan zu Bild 26.

Achse des Schalters. Darüber ist nun die zweite Ebene, die obere. Hier werden die Verbindungen zu den Punkten L bis R und K hergestellt. Dazu verwenden wir wieder Litzen, die wir gleich lang genug halten, um den Schalter nachher problemlos an der Frontplatte befestigen zu können. Der Mittenabgriff der oberen Ebene wird mit Punkt K verbunden. Wir wollen später an der Frontplatte die Bereiche von links nach rechts mit 0,1 bis 1 MHz einstellen können. Punkt R auf der Platine ist der kleinste Bereich, hier ist C13 mit 100 µF angebracht. Wir verbinden daher die Punkte mit dem Schalter so, wie es *Bild 28* zeigt. Dabei schauen wir immer noch von vorn, von oben auf die Ebene. Den Schalter befestigen wir später an der Frontplatte so, daß die Trimmer nach oben zeigen. Dann ist der linke Trimmer zum Einstellen des kleinsten Bereiches.

Schalter mit 12 Stellungen haben leider keinen Anschlag. Der Schaltung schadet es nicht, wenn wir später mal versehentlich den Schalter zu weit drehen, wir haben dann nur keinen Impuls.

Der nächste Schalter ist die Kombination der Schalter SCH 1 bis 4. Hier benötigen wir für die 5 (oder 6) verschiedenen Impulsformen 5 (bzw. 6) Stellungen. Wir wählen einen Drehschalter mit 2 Ebenen und je 2 x 6 Stellungen. *Bild 29* zeigt die Verdrahtung der einzelnen Ebenen, wir

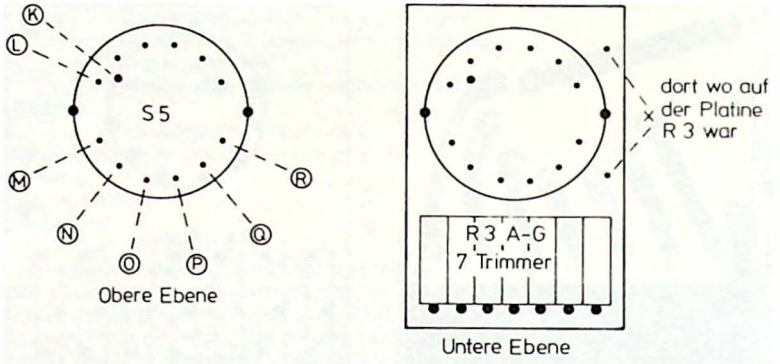


Bild 28: Anschlußplan des Schalters SCH 5

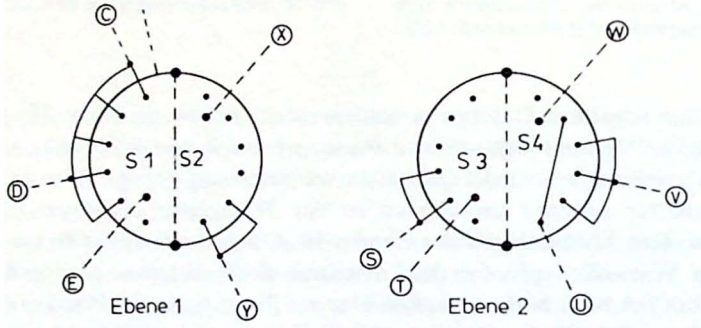


Bild 29: Anschlußplan der Schalter SCH 1 bis SCH 4.

müssen aber hier beachten, daß wir diesmal von hinten, auf die hintere oder untere Ebene, schauen. Es ist jeweils angegeben, wie die einzelnen Anschlüsse an den Schalterebenen untereinander und dann zu den Punkten auf der Platine zu verbinden sind. Ist alles richtig verdrahtet, müssen sich folgende Verbindungen in den einzelnen Stellungen zeigen:

1 = Rechteck = SCH 1 ohne Bedeutung, hier auf C geschaltet
SCH 2 ohne Bedeutung, hier geschlossen
SCH 3 offen
SCH 4 an U

2 = Sinus = SCH 1 an C
SCH 2 geschlossen
SCH 3 offen
SCH 4 an V

3 = Dreieck = SCH 1 an D
SCH 2 offen
SCH 3 offen
SCH 4 an V

4 = Sägezahn = SCH 1 an D
SCH 2 offen
SCH 3 geschlossen
SCH 4 an V

5 = Rechteck = SCH 1 ohne Bedeutung, hier an D
SCH 2 offen, jedoch ohne Bedeutung
SCH 3 geschlossen
SCH 4 an U

Wenn die sechste Stellung noch eingesetzt werden soll:
SCH 1 an C
SCH 2 geschlossen
SCH 3 geschlossen
SCH 4 an V

Die Verbindungen des Schalters SCH 4 zu W, U und V sollten mit abgeschirmter Litze hergestellt werden. Dazu kann dünnes, einadriges Lautsprecherkabel genommen werden. Die Verbindung der Abschirmung erfolgt am Schalter. Es werden die einzelnen Abschirmungen zusammengelötet und mit einer Litze an den Minuspunkt der Platine geführt.
Der Schalter SCH 6 ist wieder ein Lorlin-Schalter mit 3 x 4 Stellungen oder 1 x 12, der dann auf 4 Raststellungen eingestellt wird. Die Anschlüsse 1, 2 und 3 (A1, A2, A3) werden mit den entsprechenden Punkten auf der Platine verbunden, der Mittenabgriff mit dem Punkt A4. Die vierte Stellung mit dem Punkt Z verwenden wir später zum Anschluß des Rauschgenerators, um das Rauschen über die Endstufe hörbar zu machen. Die Trimmwiderstände R7, R8, R14 und R16 sind Trimmer in einfacher Ausführung, sie sollten aber verkapselt sein (PIHER). Es ist nicht nur wegen einer möglichen Verschmutzung. Trimmer mit freiliegendem Schleifer, besonders die kleinen, sind empfindlich. Eine ungewollte stärkere Berührung, und der Schleifer liegt nicht mehr genau auf

der Kohlebahn auf. Unterbrechungen in den Einstellungen und Ungenauigkeiten in der Linearität sind die Folge. Das gilt nicht nur für diese Schaltung hier, sondern allgemein.
Im abgebildeten Mustergerät ist R4 ein 10-Gang-Wendel-Potentiometer. Dieses Potentiometer wird wie jedes andere an der Frontplatte angeschraubt. Auf die Achse wird dann mit einer Klemmschraube ein sogenannter Digital-Feintrieb aufgesetzt, die Klemmschraube sitzt im Knopf des Feintriebs. Dieser Feintrieb hat zwei Skalen, eine Scheibe mit den Ziffern 0 bis 90, dazwischen Teilstriche. So kann genau von 0 bis 99 abgelesen werden. Um die Scheibe einen Ring mit den Ziffern 0 bis 20 mit jeweils einem Teilstrich dazwischen. Die Unterteilung ist hier also 0, 5, 1, dann 1, 5, 2, 2,5 usw. bis 20. Der Ring verstellt sich mit der Scheibe, es können so Werte von 0,0 über 1,67, 3,44 oder 7,99 usw. bis 20,00 (genauer 19,99) abgelesen werden. Durch die Verwendung eines Zahnradantriebs ist die Wiederholgenauigkeit sehr groß.
Nachdem das Poti an der Frontplatte befestigt ist, wird es nach links bis zum Anschlag gedreht. Später bei der Frequenzeinstellung ergibt das den niedrigsten Wert. Der Feintrieb wird auf 1,0 eingestellt, nicht auf 0,0! Denn wir stellen ja die Frequenzen von 1 bis 11 ein. Dann schieben wir den Feintrieb über die Potiachse und schrauben ihn mit der Klemmschraube fest. Weiter ist nichts einzustellen, denn das Poti läßt sich ja nur 10 x umdrehen. Der Digitaltrieb steht dann auf 11,00 und wird vom Poti angehalten. So entsteht auf einfache Art eine sehr genaue Ablesemöglichkeit.
Der Kostenpunkt für diese beiden Bauteile ist schon allein ca. 40,– DM. Es geht auch preiswerter. Als Poti verwenden wir eine Drahtausführung. Alle Schalter und die Poti R4 und R22 sowie der Schalter SCH 5 mit der kleinen Platine werden zuerst, wenn auch mit genügend langen Litzen, provisorisch mit der Platine verbunden. Wir schließen wieder den Trafo an. Zuerst wird noch einmal die Versorgungsspannung gemessen, am besten an den Anschlüssen 4 (+) und 12 (–) der IS 2. Dann setzen wir die IS ein. Im Schaltplan *Bild 21* sind einige Punkte angegeben, an denen bestimmte Spannungen nachgemessen werden können. Die angegebenen Werte sollten mit der Messung übereinstimmen, eine Abweichung darf höchstens 5 % betragen. Einzige Ausnahme, die 2,7 und 0,3 Volt an den Punkten F und H, diese Werte stellen sich erst später beim Abgleich genau ein. – Damit wäre auch der Aufbau dieser Platine beendet.

9. Das Gehäuse des Meßwertgebers

Schon zu Beginn dieses Buches wurde darauf hingewiesen, daß die Verwendung eines bestimmten Gehäuses nicht vorgeschrieben wird. 2 Punkte waren für diesen Entschluß maßgebend.

1. Jeder Geschmack ist nicht gleich. Was dem Autor gefällt, muß nicht jedem Hobby-Elektroniker gefallen. Vielleicht möchte man auch die Platinen in 2 Gehäusen unterbringen oder in bereits vorhandene Gehäuse mit anderen Geräten, in denen aber noch Platz ist.
2. Die Vielzahl der Gehäusetypen führt zwangsläufig dazu, daß die Händler nicht alle Typen am Lager haben. So kann es erhebliche Schwierigkeiten bei der Beschaffung eines vorgeschriebenen Gehäuses geben.

Das auf der Titelseite und auf dem Foto 5 abgebildete Gehäuse mag daher nur ein Anhaltspunkt sein. Es ist ein einfaches Schalengehäuse aus Stahlblech mit Front- und Rückplatte aus 1,5 mm Aluminium. Das Gehäuse kann in 4 Teile zerlegt werden. Die Frontplatte ist bei der Lieferung mit einer Schutzfolie beklebt. Erst nachdem alle Löcher gebohrt oder ausgesägt sind, wird diese Folie entfernt. Dadurch werden Kratzer vermieden.

Bei der Aufteilung der Schalter, Drehknöpfe und Instrumente an der Frontseite ist nicht nur auf ein gefälliges Aussehen zu achten. Die genannten Bauteile benötigen auch hinter der Frontplatte einen gewissen Platz, besonders die Schalter mit den kleinen Platinen. Das muß berücksichtigt werden, um sich den Ärger einer verbohrten Frontplatte zu ersparen. Auf den Platz für den oder die Trafos wurde schon hingewiesen; bei diesem Gehäuse war der Einbau zweier Trafos möglich. Die Anordnung der Schalter, Regler und auch der Ausgangsbuchsen sollte eine sinnvolle Reihenfolge aufweisen. Die Ausgangsbuchsen und der Regler dazu gehören auch auf der Platte zusammen. Ebenso sollte auch bei den Buchsen darauf geachtet werden, daß sie möglichst so in der Reihenfolge liegen, daß die verschiedenen Anschlüsse von der Platine her nicht unnötig über Kreuz gehen. Besonders bei Schaltungen, die Impulse erzeugen und verarbeiten, kann es sonst zu einem sogenannten „Übersprechen" kommen.

Die Schalter, Knöpfe und Buchsen auf dem Foto bedeuten im einzelnen, von links nach rechts:

Schalter oben	=	Netzschalter für den Meßwertgeber
Schalter unten	=	Netzschalter für den Funktionsgenerator
LED daneben	=	D1 der Platine Funktionsgenerator
Schalter oben (x1)	=	Umschalter SCH 7 für die Verdoppelung der Frequenz
Digitalfeintrieb	=	Frequenzeinstellung (fein)
Darunter links	=	Ausgangsbuchsen TTL
Daneben	=	Ausgangsbuchsen Frequenz
Neben Digitaltrieb	=	SCH 5, Frequenzbereichseinstellung
Schalter oben	=	Impulsform
Darunter links	=	R22, Einstellung der Ausgangsspannung
Daneben rechts	=	SCH 6, für 10 mV, 100 mV, 1 Volt und Rausch-Einstellung.

2 Meßinstrumente für das Doppelnetzgerät
Darunter die beiden LED D4 und D5 für die Kurzschlußanzeige. Neben den Instrumenten eine LED für die Betriebsanzeige Meßwertgeber. Die Spannung wird einfach hinter der IS 1 mit einem Vorwiderstand von 470 Ohm abgenommen.
Darunter der Schalter SCH 3, der die Generatoren einschaltet.
Unter den Instrumenten die Knöpfe von links nach rechts:
SCH 1, Umschalter des Meßwertgebers (Spannung) von 0 bis 10 Volt.
SCH 2, Umschalter des Quarzgenerators von 1 Hz bis 1 MHz.
R27, Regelpotentiometer des Doppelnetzgerätes.
Darunter die Buchsen für den Ausgang Rauschgenerator, Kalibrator, Quarzgenerator und Doppelnetzgerät.
Die Beschriftung (Siehe auch Foto 5) erfolgte nach dem Bohren mit Abreibebuchstaben und -zeichen (SENO). Auch die Skalensymbole sind als Abreibesymbole zu haben.
Die Trafos wurden am Gehäuseboden festgeschraubt, ebenso die Platinen, diese allerdings mit Abstandshülsen. Die Rückseite der Platine darf ja nicht auf dem Metallboden aufliegen, das gäbe den schönsten Kurzschluß. Wird ein Kunststoffgehäuse verwendet, ist dies nicht notwendig.

10. Einbau und Abgleich

Vor dem endgültigen Abgleich der Geräte sollten sie in das Gehäuse eingebaut sein. Ob dabei für das Doppelnetzgerät 2 Meßinstrumente verwendet werden, hängt von der Größe des Gehäuses ab und davon, wieviel der Hobby-Elektroniker, der diese Schaltungen nachbaut, in sein Gerät investieren will. Sie sind nicht unbedingt notwendig. Wird sogar auf eine Regelung verzichtet und das Gerät auf 12 Volt für beide Wege fest eingestellt, sind sie bestimmt entbehrlich.

Werden beide Meßinstrumente verwendet, ist auf die richtige Anschlußfolge zu achten. *Bild 30* zeigt, wie die Instrumente angeschlossen werden. Da die Meß-Geber-Platine schon vorher weitgehend abgeglichen ist, ist der weitere Abgleich sehr einfach. Der Kalibrator, der Rauschgenerator und der Quarzgenerator benötigen keinen Abgleich mehr. Bei den Meßinstrumenten wird mit der schon erwähnten Schraube unter dem Zeiger dieser genau auf Null gestellt. Mit dem Potentiometer R27 stellen wir dann die höchstmögliche Spannung ein. Das Instrument im Plusweg des Netzgerätes ist der Maßstab für die Voltzahl, und mit dem Trimmer R30 ziehen wir das andere Instrument auf diese Voltzahl nach. Zur Kontrolle verstellen wir nun R27 auf einen anderen Wert, z. B. genau 10 Volt. Beide Instrumente können voneinander abweichen. Es wurde schon weiter vorn darauf hingewiesen, daß durch die Toleranzen der Festspannungsregler im Endwert des Doppelnetzgerätes Differenzen auftreten können. Wir gleichen hier noch einmal mit R30 genau ab. Damit ist der Abgleich der ersten Platine auch schon beendet.

Wird die zweite Platine mit dem gleichen Trafo betrieben, verwenden wir nur den Anschluß einer Wicklung des Doppeltrafos. Wollen wir den Rauschgenerator nicht über die zweite Platine verstärken, ist es gleich, welche der beiden

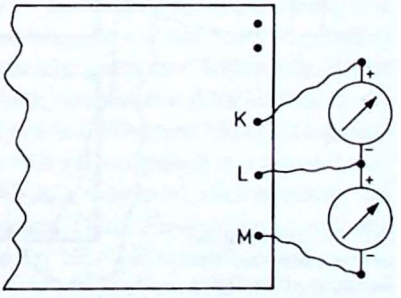


Bild 30: Anschlußplan der Meßinstrumente.

Wicklungen wir für die zweite Platine verwenden. Soll das Rauschen aber verstärkt werden, ist von der ersten Platine zu der zweiten Platine nicht nur die Verbindung vom Rauschgenerator herzustellen, sondern auch beide Minuspunkte müssen verbunden werden. Ob dieses mit einer festen Verbindung geschieht oder auch mit SCH 6 der zweiten Platine, ist nicht so von Bedeutung. Doch der Anschluß der Versorgungsspannung kann jetzt nur von einer bestimmten Wicklung her geschehen. Es muß die Wicklung sein, die die obere, die Plusleitung des Doppelnetzgerätes bildet, an der über den Schalter SCH 3 der Quarzgenerator und auch der Rauschgenerator angeschlossen sind. Die Minusleitung zur zweiten Platine erfolgt vom Punkt L aus. Ist die Stromversorgung für die zweite Platine an der verkehrten Wicklung angeschlossen, entsteht hier unter Umständen eine Spannungsverdopplung, und einige Bauteile können Schaden nehmen. Nicht nur Teile des Rauschgenerators, sondern auch IS 9 der ersten Platine ist in Gefahr. *Bild 31* zeigt den richtigen Anschluß. Im Mustergerät wurde für den Schalter SCH 6 ein Lorlin-Schalter mit 3 x 4 Stellungen verwendet. An den ersten 3 Anschlüssen des ersten Schalterteils sind die Anschlüsse A1,

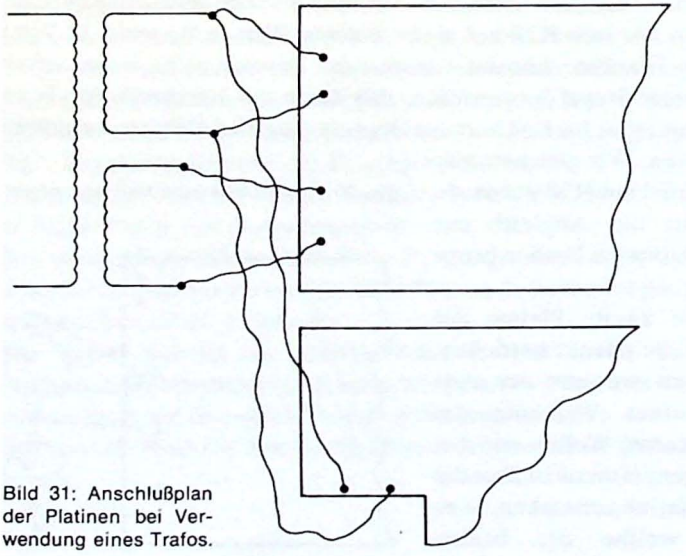


Bild 31: Anschlußplan der Platinen bei Verwendung eines Trafos.

A2 und A3 befestigt, am Anschluß 4 der Rauschgenerator vom Punkt Y der ersten Platine her. Die Minusverbindung zwischen beiden Platinen wurde über den zweiten Schalterteil geführt, über dessen Mittenabgriff und den Anschluß 4. So ist die Verbindung zwischen beiden Platinen nur in der vierten Schalterstellung von SCH 6 gegeben. Im Mustergerät wurden 2 Trafos verwendet.
Sind Trafos und Platinen befestigt, ist die Frontplatte mit den Schaltern bestückt und angeschlossen, kann der letzte Abgleich der zweiten Platine beginnen. Optimal ist der Funktionsgenerator nur dann abzugleichen, wenn ein Frequenzzähler und ein Oszillograf zur Verfügung stehen. Alles andere ist nur ein Behelf und führt zu keinen genauen Daten. Sind diese Geräte nicht vorhanden, ist der Verfasser bereit zu helfen. Siehe Hinweis am Ende des Buches.
Der Abgleich sollte in der angegebenen Reihenfolge geschehen.
An den Ausgang „Frequenz-Aus" wird ein Oszilloskop angeschlossen. Dabei ist auf die richtige Verbindung zu achten, Minus an Minus. Den Schalter Impulsform stellen wir auf „Sinus". Mit R16 stellen wir die Kurvenform Sinus exakt ein. Hiervon hängt nachher der Klirrfaktor ab, darum sollte die Einstellung wirklich sorgfältig geschehen. Mit R8 kann dann die Amplitudenhöhe eingestellt werden. Dabei fällt auf, je geringer die Amplitudenhöhe, um so besser ist die Kurvenform mit R16 einzustellen. Das bedeutet nichts anderes, als daß der Klirrfaktor um so geringer wird, je kleiner die Ausgangsspannung ist. Ist der Oszillograf genau, können wir die Ausgangsspannung auch genau einstellen. SCH 6 wird auf 1 Volt und R22 auf höchsten Wert gestellt, also die 10. Mit R8 wird nun eine Spannung von 1 Volt eff. eingestellt. Verwenden wir die Formeln, die wir am Beginn der Beschreibung des Meß-Wert-Gebers angegeben haben, ergibt 1 Volt eff. eine Spitze-/Spitze-Spannung von 2,82 Volt. Diese Amplitudenhöhe können wir mit dem Oszilloskop genau einstellen. Hier erhalten wir den geringsten Klirrfaktor. Diese Ausgangsspannung genügt auch im allgemeinen den Anforderungen, die an den Funktionsgenerator gestellt werden. Wird eine höhere Ausgangsspannung gewünscht, kann noch 2 Volt eff. eingestellt werden, das sind dann 5,657 Volt Spitze-Spitze. Der Klirrfaktor ist aber oberhalb der Frequenzen 30 kHz nicht mehr so gut. Diese Frequenzen liegen aber schon außerhalb der Bereiche, die der HI-FI-Fan zur Kontrolle seiner Geräte benötigt. Darum sind die 2 Volt eff. noch vertretbar, eine höhere

Ausgangsspannung sollte aber nicht eingestellt werden. Die Bezeichnung an der Frontplatte für den Schalter SCH 6 und den Regler R22 müssen dann geändert werden. Mit dem Trimmer R14 wird der Feinabgleich der Kurve vorgenommen, also die genaue Symmetrie hergestellt.
Steht kein Oszilloskop zur Verfügung, ist folgender Abgleich möglich. An den Ausgang wird ein Voltmeter angeschlossen, Stellung auf Wechselspannung. R16 und R14 werden auf Mitte eingestellt, mit R8 wird auf eine Anzeige 1 oder 2 Volt geregelt. Dann kann noch versucht werden, im Wechsel mit den beiden anderen Trimmern zu erreichen, daß mit diesen nach einigen Korrekturen keine Veränderung der Ausgangsspannung mehr eintritt und diese sich nur noch mit R8 ändern läßt. Dann genau auf die gewünschte Voltzahl einstellen.
Jetzt auf „Dreieck" umschalten. Mit R7 wird hier die gleiche Amplitudenhöhe wie bei Sinus eingestellt. Andere Trimmer dürfen nicht mehr verstellt werden. Ohne Oszilloskop mit dem Voltmeter auf 0,82 Volt (eff) einstellen. Beim Dreieck gilt nicht die Formel für die Volt Spitze-Spitze – und Volt max. – Berechnung wie bei Sinus! Es gibt hier einen sogenannten Korrekturfaktor, mit dem umgerechnet werden kann. Dieser Faktor ist 0,82, entspricht also der oben angegebenen Voltzahl. Dies wird auch verständlich, wenn man die Kurvenform des Dreiecks mit der des Sinus vergleicht. Auf dem Oszilloskop muß aber auf eine Höhe von 2,82 eingestellt werden (Volt Spitze-Spitze)! Oder den doppelten Wert, wenn 2 Volt eff. Ausgang gewünscht wird. Dann mit dem Voltmeter auch auf 1,64 Volt.
Es wird nun noch auf die anderen Impulsformen umgeschaltet, aber keiner der Trimmer mehr verstellt. Dieses Umschalten dient nur noch der Kontrolle, ob die Impulsformen alle stimmen. Nur in Stellung 1, dem Rechteck, kann die Ausgangsspannung noch einmal gemessen werden. Auch für diese Kurvenform gibt es einen Korrekturfaktor bei der Berechnung der Spannung. 1 Volt eff. ergeben eine Messung von 1,41 Volt, der Korrekturfaktor ist also 1,41.
Zweckmäßigerweise wird diese Messung bei einer geraden Frequenz vorgenommen, als günstig hat sich die Einstellung auf 1 kHz erwiesen.
Am Ausgang TTL müssen in den ersten 3 Stellungen des Schalters für die Impulsform immer symmetrische Rechtecke anstehen, in den letzten 2 Stellungen asymmetrische, alle im TTL-Pegel mit ca. 4,5 Volt „über" der Null-Linie. Eine Voltmessung wird hier schwierig. Als Anhaltspunkt

kann dienen: bei 1 kHz Frequenz und symmetrischem Rechteck werden mit dem Voltmeter bei einer Stellung auf Gleichspannungsmessung ca. 2,2 Volt gemessen.
Für die nächste Einstellung ist ein Frequenzzähler notwendig. Er wird auch an den Ausgang angeschlossen.
Wir gleichen zuerst die Bereiche ab, die sich einwandfrei einstellen lassen. Bereich auf 1 – 10 Hz. Mit dem Trimmer R3 B, dem zweiten von links auf der kleinen Platine, wird genau auf 1 Hz eingestellt, dabei steht das Poti R4 am linken Anschlag. Anschließend muß mit dem Poti die Frequenz von 1 bis 11 genau eingestellt werden können, dabei müssen Skala und Anzeige des Frequenzmessers übereinstimmen. Stimmt dies nicht, hat R11 eventuell nicht den richtigen Wert. Wer die Tabelle, die wir genannt haben, nachrechnet, wird feststellen, daß bei einer Abweichung von 5 % des benötigten Widerstandswertes sich auch die Linearitätskurve bei der Einstellung schon verschieben kann. Nicht sehr viel, aber die Ablesung ist nicht mehr genau. Entweder einen besseren Widerstand aussuchen oder einen Widerstand mit 1 %, besser noch 0,5 % verwenden.
Der gleiche Abgleich erfolgt nun in den anderen Bereichen. Mit den Trimmern R3 (einer von den 7 auf der kleinen Platine) wird jeweils der Anfangspunkt des Bereichs eingestellt. Mit R4 muß man dann die Frequenz genau einstellen und ablesen können.
Bei den beiden Bereichen 0,1 bis 1 Hz und 100 kHz bis 1 MHz muß, wie schon erwähnt, ein Kompromiß geschlossen werden. Hier sollte der Hobby-Elektroniker selbst entscheiden, für welche genaue Einstellung er die schon genannten Bauteile bemessen will. Oder aber ob er einen der Bereiche oder auch beide fortläßt.
Die eingestellte Frequenz stimmt in den Einstellungen Sinus, Rechteck und Dreieck, nicht aber bei Sägezahn und asymmetrischem Rechteck. Doch darauf wurde ja schon hingewiesen.
Ist ein Frequenzzähler nicht vorhanden, kann noch mit dem Oszilloskop abgeglichen werden. Wenn dieses so genau eingestellt ist, wie beim Meß-Wert-Geber beschrieben, können je nach Stellung der Zeitbasis die Impulse auf dem Schirm ausgezählt werden. Dieser Abgleich ist dann auch sehr genau.
Ein Notbehelf ist folgende Möglichkeit: An einen Trafo mit 6 Volt Ausgangsspannung wird ein Brückengleichrichter angeschlossen. Nach dem Gleichrichter steht dann eine pulsierende Gleichspannung von 100 Hz

zur Verfügung. Es darf kein Elko angeschlossen werden! Diese pulsierende Spannung legen wir mit einem 1,2 Kiloohm Widerstand in Reihe, nicht parallel, auf einen Lautsprecher. Der Brummton von 100 Hz ist dann gut zu hören. Vom Ausgang „Frequenz Aus" stellen wir ebenfalls eine Verbindung zum Lautsprecher her, hier aber über einen Widerstand von 120 Ohm. Mit dieser Anordnung können wir 2 Bereiche abgleichen, 10 – 100 Hz und 100 Hz – 1 kHz. Der Schalter wird auf den entsprechenden Bereich eingestellt und mit R4 jeweils auf 100 Hz. Mit R3 auf der kleinen Platine wird dann auf „Schwebungsnull" abgeglichen. Stimmen beide Frequenzen überein, verschwindet der Ton, auf „Schwebungsnull".

Andere Bereiche können nach dieser Methode nicht abgeglichen werden. Foto 5 zeigt eine Anordnung, mit welchem Gerät der Funktionsgenerator abgeglichen wird.

Über den Einsatz des Gerätes in anderen Bereichen haben wir schon gesprochen. Hier sollen noch einmal einige Möglichkeiten aufgeführt werden:

Verstärkermessungen (Frequenzgang, Klirrfaktor, Impulsverhalten)
Lautsprechermessungen (wie vor)
Prüfungen von Digitalschaltungen (Takt- und Steuergeneratoren)
Untersuchungen an Filtern
Frequenzmessungen an Oszilloskopen und Frequenzzählern
Bei Oszilloskopen Frequenzmessung auch mit Lissajousschen Figuren
Ansteuerung von Rechnerschaltungen.
Tonfrequenzbestimmungen
Kalibrierung von Meßgeräten
Spannungsversorgung von IS-Schaltungen mit symmetrischer Versorgungsspannung.
Kalibrierung von Wechselspannungsmessern mit der Einstellung 1 Volt eff! Ermitteln des Windungsverhältnisses bei unbekannten Transformatoren usw.

Die Liste ist nicht vollständig, da der Anwendungsbereich einfach zu groß ist.

Hier noch der Hinweis zum Abgleich durch den Verfasser.

Fertig aufgebaute Geräte werden vom Verfasser abgeglichen, wenn dem Hobby-Elektroniker keine Möglichkeit dazu gegeben ist. Voraussetzung: Die Platinen sind in ein Gehäuse mit allen notwendigen

Schaltern und Potentiometern fest eingebaut. Die Platinen entsprechen den Vorlagen in diesem Buch, die Bestückung erfolgte nach den Stücklisten. Reparaturen oder Fertigstellung unvollständig bestückter Platinen kann nicht erfolgen. Die Geräte müssen einwandfrei verpackt frei Haus zugeschickt werden. An Gebühr ist der Sendung DM 10,– beizulegen oder auf das Postscheckkonto Köln, 93670-506 im voraus zu überweisen. Die Rücksendung erfolgt unfrei als Wertpaket.

Technische Daten des XR 2206

IS mit 16 Anschlüssen im Plastikgehäuse Versorgungsspannung		10 bis 26 Volt asymmetrisch
	oder	bis +/– 12 Volt symmetrisch
Stromaufnahme		20 mA
Ausgangsspannungen bei Versorgungsspannung 12 Volt		Rechteck max. 12 Volt Sinus/Dreieck max. 6 Volt
Ausgangswiderstand	Sinus/Dreieck	typ. 600 Ohm
	Rechteck	typ. 60 Kiloohm
Klirrfaktor (Sinus)	ohne Abgleich	typ. 1,5 %
	mit Abgleich	0,5 % und besser
Frequenzstabilität		0,01 % je Volt Spannungsschwank.
Frequenzgenauigkeit		1,5 – 2 %
Max. Frequenz		1 MHz
Min. Frequenz		0,01 Hz
Linearität Dreiecksignal		1 %
Amplitudenhöhe		bis zur Versorgungsspannung möglich
Spannungs-/Frequenzumsetzung		Linear
Ausgangsbelastung		2 mA

11. Digitale Frequenzanzeige für den Funktionsgenerator

Mit einer geringen Mehrinvestition ist es möglich, für den Funktionsgenerator eine digitale Anzeige zu schaffen. Wird von den beiden Schaltungsvorschlägen die kleinere gewählt, können sogar die Kosten durch die Einsparung einiger Bauteile des Funktionsgenerators fast wieder aufgefangen werden. So können der Digitalfeintrieb entfallen, die Wendeltrimmer R3 A – G, einige Widerstände von 1 % und eventuell der Wendelpoti R4 durch einfache Ausführungen ersetzt werden. Trotz des einfachen Aufbaus ist die Anzeige doch sehr genau, nicht zuletzt durch die verwendete spezielle IS, die MK 50398 N, die in Frequenzmeßgeräten verwendet wird. Außerdem ist ein Vorverstärker mit eingebaut, der es ermöglicht, Frequenzen mit nur wenigen Millivolt Amplitude einwandfrei zu messen. Wenn es nun auch auf den ersten Blick so aussieht, daß hier ein Frequenzmeßgerät beschrieben wird, ist es doch nicht so. Es werden nur 6 Anzeigestellen verwendet, und damit ist eine genaue Messung in einem größeren Bereichsumfang nicht gegeben, wir werden noch sehen, warum. Vorweg sei jedoch schon gesagt, mit einer zweiten IS MK 50398 N ist es möglich, den Bereich auf 12 Stellen auszudehnen, da diese IS einen Übertragsausgang (Carry out) besitzt. Dem erfahrenen Hobby-Elektroniker wird es keine Schwierigkeiten bereiten, das Gerät zu erweitern.

In der kleinen Aufbaustufe kann von 1 Hz bis 999999 Hz gemessen werden, ohne daß irgendeine Umschaltung erfolgen muß. Damit kann schon der wichtigste Bereich des Funktionsgenerators erfaßt werden. Die Torzeit für die Messung ist fest auf eine Sekunde eingestellt und ganz einfach, nur mit einem Wendeltrimmer abzugleichen. Dazu wird auch kein anderes Meßgerät benötigt, zum Abgleich nehmen wir die Netzfrequenz von 50 Hz. Zur Kontrolle können wir dann noch den Quarzgenerator verwenden.

Im kompletten Ausbau kann von 0,1 Hz bis zu 99999 kHz gemessen werden. Diese Angabe mag irritieren, da sie im Widerspruch zu den obigen Ausführungen steht. Hier muß beachtet werden, daß die Messung nun in 5 Bereichen erfolgt, wobei der kleinste eine Messung von 0,1 Hz bis 99,9999 kHz zuläßt. In jedem weiteren Bereich vergrößert sich die

Meßmöglichkeit nach oben, aber ebenso verringert sich die Meßmöglichkeit bei der niedrigsten Stelle. So ist im größten Bereich nur eine Messung von 1 kHz bis 999999 kHz möglich. Das sind fast ein Gigahertz, dafür ist jetzt aber eine Anzeige unter 1 kHz nicht möglich. Hier wäre nun die zweite IS notwendig.

11.1 Die Schaltung der Frequenzanzeige

Bild 32 zeigt die Schaltung als Blockschaltbild. Es wird eine eigene Spannungsversorgung benötigt. Um Frequenzüberschläge zu vermeiden, kann die Frequenzanzeige nicht aus den Netzteilen der anderen Platinen versorgt werden, obwohl es vom Strombedarf her möglich wäre.

Bei der kleinen Aufbaustufe ist die Verbindung vom Vorverstärker über die Stellen S 1a und S 1b direkt zum Zähler geführt. Im größeren Ausbau wird der Frequenzteiler zwischengeschaltet und die Torzeit um einen Bereich (10 Sekunden) erweitert.

Nach diesem Blockschaltbild ist auch die Schaltung in einzelne Abschnitte aufgeteilt.

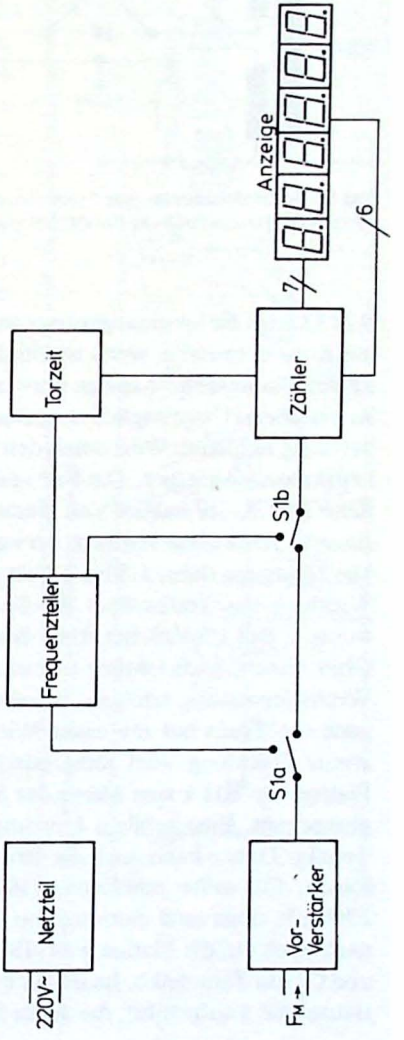


Bild 32: Block-Schaltbild der Frequenzanzeige. Der Frequenzteiler ist nur bei dem großen Ausbau der Schaltung notwendig.

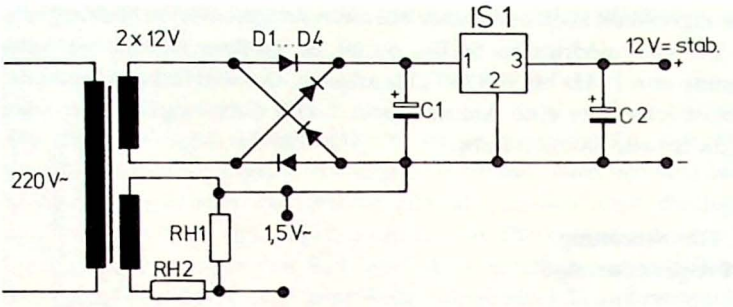


Bild 33: Netzteilschaltplan der Frequenzanzeige. Rh 1 und Rh 2 bilden einen Spannungsteiler für die Heizung bei der Verwendung einer Fluoreszenzanzeige.

Bild 33 zeigt die Spannungsversorgung. Der Trafo hat 2 x 12 Volt. Das ist nur dann notwendig, wenn wie in dem Mustergerät (Siehe Tafel 4 Bild 8) eine Fluoreszenz-Anzeige verwendet wird. Diese Anzeigen sind billig zu erstehen. Ursprünglich in guten Taschenrechnern verwendet, verlieren sie nun ihren Wert durch den Einsatz der stromsparenden Flüssigkeitskristall-Anzeigen. Die hier verwendete Anzeige, 9-stellig, ist schon unter DM 3,– zu haben. Von diesen 9 Stellen werden dann nur 6 angesteuert. Wird diese Anzeige verwendet, ist eine Heizung erforderlich. Die Spannung dazu, 1,5 bis 2 Volt mit nur 10 mA, wird aus der zweiten Wicklung des Trafos über die Spannungsteiler RH 1 und RH 2 gewonnen. Bei 1,5 Volt hat RH 1 den Wert von 820 Ohm, bei 2 Volt 680 Ohm. Eine Gleichrichtung ist nicht erforderlich, die Heizung kann mit Wechselspannung erfolgen. Werden andere Anzeigen verwendet, kann auch ein Trafo mit nur einer Wicklung genommen werden, oder die zweite Wicklung wird nicht beschaltet und die Verbindung auf der Platine von RH 1 zum Minus der Schaltung mit einem scharfen Messer abgeschabt. Eine größere Leistung des Trafos als 0,4 A ist nicht notwendig. Daher kann auch die Brückengleichrichtung mit 4 Dioden erfolgen. C1 sollte mindestens 1000 µF/16 Volt haben. Besser sind 2200 µF, doch muß dann auf die Größe geachtet werden, ob der Elko auch noch auf die Platine paßt. IS 1 ist wieder ein Festspannungsregler, und C2 ein Tantalelko. Im Bestückungsplan, *Bild 39* und *40,* ist noch das Bauteil SP 1 aufgeführt, das in der Schaltung nicht angegeben ist. Dies ist

eine kleine Spule von 10 µH, die als Festspule oder Drossel zu haben ist. Sie liegt in der Plusleitung zum Vorverstärker und zum Frequenzteiler und dient dazu, eventuelle Spannungsspitzen aufzufangen, die noch entstehen könnten und dann in die Verstärkung mit eingingen. Eine Spule ist ja bekanntlich ein Wechselstromwiderstand. Erinnern wir uns, früher waren Drosseln in Gleichrichterschaltungen üblich.

Bild 34 zeigt die Schaltung des Verstärkers. Diese Schaltung kann auch für sich allein verwendet werden, um bei anderen eventuell vorhandenen Frequenzmeßgeräten eingesetzt zu werden. In diesen Schaltungen hier ist die Spannung 12 Volt, der Verstärker arbeitet aber auch mit einer Spannung von 5 Volt, wie es bei vielen anderen Frequenzmessern üblich ist. Auch IS 2, CD 4093, ein CMOS-IS, kann mit 5 Volt betrieben werden, so daß keine Änderung notwendig ist. C3, ein Tantalelko, entkoppelt noch einmal die Versorgungsspannung. C4 sperrt unerwünschte Gleichspannung am Eingang. R1 und die Dioden D5 und D6 begrenzen die Eingangsspannungsamplituden auf ungefährliche 1 Volt, die Eingangsfrequenz kann eine Spannung bis zu 80 Volt haben, kurzfristig 100 Volt. C5 überbrückt R1, der sonst im Bereich hoher Frequenz durch seine auch vorhandene

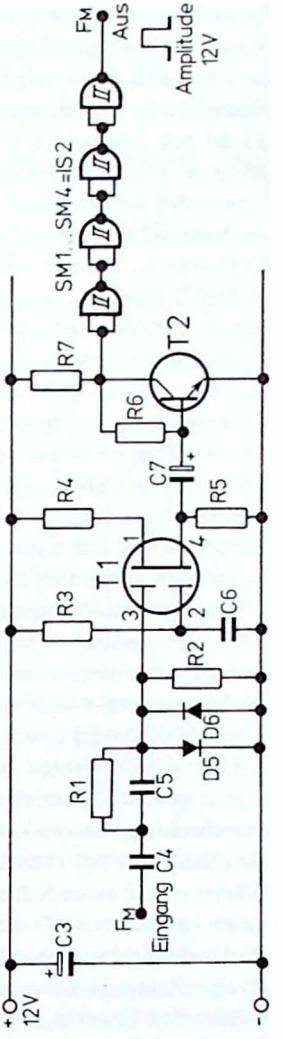


Bild 34: Schaltplan des Vorverstärkers. Diese Schaltung ist universal und kann auch bei anderen Frequenzmeßgeräten verwendet werden. Eine Versorgung mit 5 Volt ist ohne Änderung möglich.

Induktivität als Sperre wirken kann. R2 legt in Verbindung mit T1 und dessen anderer Beschaltung den Eingangswiderstand der Schaltung auf ca. 1 Megaohm fest. Gleichzeitig arbeitet T1 als Impedanzwandler, da T2 niederohmig angesteuert werden muß.
T1 ist ein Doppel-Gate-MOS-FET-Transistor. In der Stückliste sind mehrere Typen aufgeführt, die alle ohne eine Änderung der Schaltung verwendet werden können. Im Gegensatz zu normalen FET-Transistoren haben die Doppel-Gate-MOS-FET eine gleiche Anschlußfolge, dem Verfasser ist kein abweichender Anschluß bekannt. Es können auch andere Typen als die aufgeführten verwendet werden, wir müssen nur darauf achten, daß es MOS-FET sind. Einfache Doppel-Gate-FET können nicht verwendet werden. Diese haben andere elektrische Daten, und hier sind auch abweichende Anschlußfolgen der Beinchen möglich. C7 koppelt die zu messende Frequenz F_M auf den Transistor T2. Erst dort wird die Frequenz verstärkt, bei T1 ist dies nicht der Fall. Auch für T2 sind in der Stückliste mehrere Typen angegeben. Welchen wir verwenden wollen, hängt davon ab, wie hoch die zu messende Frequenz im äußersten Fall sein kann. Wollen wir nur die Frequenzen des Funktionsgenerators kontrollieren, genügt hier schon ein BC 109 C. Die Grenzfrequenz (Transitfrequenz) dieses Transistors liegt bei 300 MHz. Für höhere Frequenzen sind dann Transistoren mit der Bezeichnung BF notwendig, oder andere mit einer Transitfrequenz von über ein Gigahertz. Im Mustergerät wurde der Typ BFR 49 mit einer Transitfrequenz von 5 GHz (5000 MHz) gewählt. Bei allen diesen HF-Transistoren ist jedoch auf die Anschlußfolge zu achten, die sehr unterschiedlich ist und nicht immer den BC-Transistortypen entspricht. Beim Kauf sollten wir uns die Anschlußfolge zeigen lassen, sofern wir kein Datenbuch besitzen.
Am Kollektor des Transistors T2 koppeln wir die verstärkte F_M aus und führen sie auf einen Schmitt-Trigger. Dieser wird durch die IS 2 gebildet, einen vierfach NAND-Schmitt-Trigger mit je 2 Eingängen. Alle 4 Gatter sind hintereinandergeschaltet, wir erhalten so am Ausgang saubere Rechteckimpulse mit einer Amplitudenhöhe von 12 Volt. Diese IS ist das schwächste Glied in der Verstärkerkette. Die Transitfrequenz wird von den Herstellern nur mit 10 MHz garantiert. Wer höhere Frequenzen messen will, muß entweder einen anderen SM mit HF-Transistoren aufbauen oder die IS aussuchen. Die im Mustergerät verwendete arbeitete auch noch bei 100 MHz.

Die Impulse werden über den Widerstand R8 weitergeleitet. Im kleinen Ausbau sofort zur IS 8 Eingang 25, im großen Ausbau zum Frequenzteiler IS 3. R8 ist nicht unbedingt notwendig. Wer den angegebenen Wert nicht zur Verfügung hat, kann hier eine Drahtbrücke einsetzen. Auf keinen Fall darf ein Widerstand mit einem höheren Wert genommen werden, das würde die Frequenz beeinflussen. R8 dient mit seiner ohmschen Induktivität nur dazu, ein Überschwingen der Rechteckimpulse zu verhindern. Für den kleinen Ausbau ist die nächste Schaltung nach *Bild 35* nicht notwendig und kann übergangen werden. Für den großen Ausbau ist dies die Frequenzteilung, um auch höhere Frequenzen

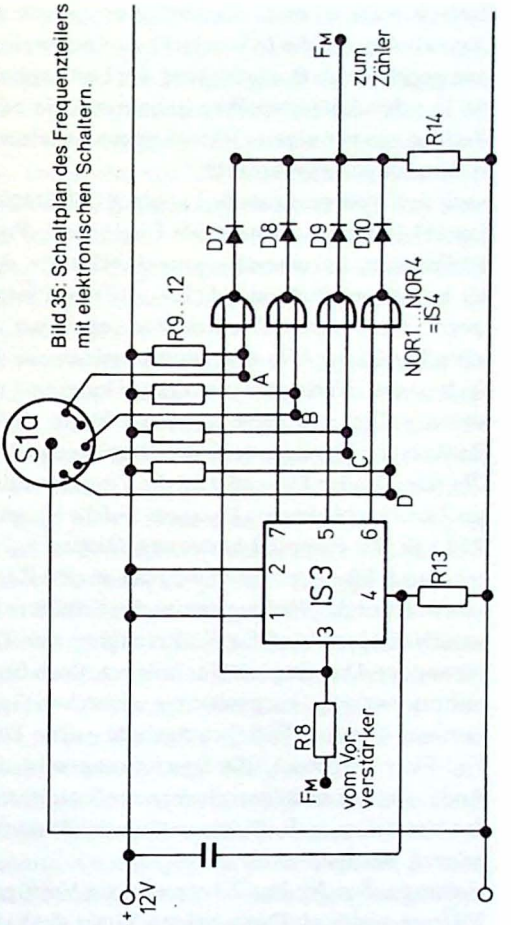


Bild 35: Schaltplan des Frequenzteilers mit elektronischen Schaltern.

messen zu können. IS 3 kennen wir schon vom Meßwertgeber her, die SAJ 141. Auch bei dieser Schaltung hier leiten wir einmal die Frequenz um die IS herum, zum anderen teilen wir sie drei mal durch 10. Anschluß 2 der IS wird wieder mit Plus verbunden, am Anschluß 4 haben wir wieder die Rücksetzschaltung mit dem Widerstand R13 und dem Kondensator C8. So wird auch hier beim Einschalten der Versorgungsspannung der Teiler auf Null gesetzt.

Einfach wäre es nun, die einzelnen geteilten Frequenzen über einen Drehschalter auf die IS 8 zu bringen. Dies wollen wir aber vermeiden, um eine gegenseitige Beeinflussung der Leitungen zu verhindern. Wir lassen die F_M den kürzesten Weg gehen und bleiben mit ihr auf der Platine. Dazu bauen wir einen elektronischen Schalter auf. Mit 4 NOR-Gattern ist dies schnell verwirklicht.
Nach der Wahrheitstabelle hat ein NOR-Gatter an seinem Ausgang nur dann H-Potential, wenn beide Eingänge L-Potential haben. Wir führen die Frequenz auf einen Eingang des Gatters, den anderen Eingang legen wir mit einem Widerstand (R9 – 12) an Plus. Damit ist das Gatter gesperrt. Über einen Drehschalter legen wir dann an das jeweils gewünschte Gatter Minus an, kompensieren so das Pluspotential über den Widerstand. Und nur dieses Gatter kann nun die F_M weitergeben, die 3 anderen Gatter bleiben gesperrt. Zwar werden nun die abfallenden Flanken der Impulse weitergegeben, doch ist das nicht von Bedeutung. Über die Dioden D7 – 10 wird die Frequenz ausgekoppelt, sie verhindern ein Zurückschlagen der Frequenz auf die Eingänge der gesperrten Gatter. R14 hält das Potential hinter den Dioden auf Minus, wenn kein Impuls ankommt. Die F_M wird nun direkt an den Zähler, IS 8 Anschluß 25 gegeben. Über die Wirkungsweise des Schalters S1 a wird noch berichtet.
Im allgemeinen wird für die Erzeugung der Torzeit eine Quarzzeitbasis verwendet. Dies ist auch hier möglich, doch für den vorgesehenen Zweck nicht notwendig. Es genügt ein einfacher Generator, der mit dem bekannten Timer NE 555 aufgebaut wird. Der Timer ist als astabiler Flip-Flop aufgebaut, die Beschaltung wird als bekannt vorausgesetzt. Andernfalls kann in entsprechender Fachliteratur oder anderen Büchern des Verfassers (z. B. Elektronik für den Modellbahner) Genaueres nachgelesen werden.
Um im großen Ausbau 2 Torzeiten zur Verfügung zu haben, werden auch 2 Timer benötigt. Diese beiden Timer sind in der IS 5, einem NE 556 schon vorhanden. Die eine Seite mit R15, R17, D14 und C9 erzeugt die Torzeit von einer Sekunde. Torzeit bedeutet ja bekanntlich, daß der Zähler für eine bestimmte Zeit geöffnet sein muß, um während dieser Zeit die ankommenden Impulse zählen zu können. Im kleinen Ausbau soll die kleinste zu messende Frequenz 1 Hz sein, also ein Impuls in einer Sekunde. Darum muß die Torzeit mindestens 1 Sekunde betragen. Dazu müßten die Werte von R14 = 90,2 Kiloohm, R17 = 27 Kiloohm und

C9 = 10 µF sein, genaue Werte der Bauteile vorausgesetzt. Wegen der Bauteiletoleranzen ist dies nicht möglich, darum setzen wir für R14 einen Wendeltrimmer ein, mit dem wir die Torzeit später exakt abgleichen können. Die andere Seite ist gleich beschaltet, aber für eine Torzeit von 10 Sekunden ausgelegt, die wir benötigen, um auch eine Frequenz von 0,1 Hz messen zu können. Dazu wird nur C12 mit einem anderen Wert, mit 100 µF, eingesetzt, die andere Beschaltung bleibt. C10 und 11 legen die Modulationseingänge fest, die nicht benötigt werden. Die Werte können zwischen 10 nF und 10 µF liegen. Werden die hohen Werte eingesetzt, sollten Tantalelkos genommen werden, wobei dann auf die richtige Polung zu achten ist.
Bei dem kleinen Ausbau verwenden wir nur die Torzeit von einer Sekunde. Dann kann der Ausgang, Anschluß 5, gleich zur IS 7, Anschluß 11, geführt werden. Werden beide Torzeiten verwendet, benötigen wir auch hier einen Schalter. Diesen bilden wir in der gleichen Art wie bei dem Frequenzteiler, nur verwenden wir hier kein NOR-, sondern ein AND- (UND-) Gatter. Nach der Wahrheitstabelle hat der Ausgang eines AND-Gatters nur dann H-Potential, wenn beide Eingänge H haben. Wir führen die Torzeit-Impulse auf je einen Eingang der Gatter und sperren diese mit den Widerständen R19 und 20, die am unteren Ende gegen Minus geschaltet sind. Über den Schalter S1 b legen wir dann an das jeweilige Gatter, das wir öffnen wollen, Plus an und kompensieren auch hier den entsprechenden Widerstand. Die Dioden D11 und D12 sowie der Widerstand R21 haben die gleichen Aufgaben wie bei dem Frequenzteiler. Die gesamte Schaltung zeigt *Bild 36.*
Im *Bild 37* ist die restliche Schaltung angegeben. IS 8 ist ein Universalzähler mit vielen Schaltmöglichkeiten. Er kann vorwärts und rückwärts zählen und auf eine bestimmte Anzeige gesetzt werden, ab der er dann weiterzählen soll. So ist mit diesem Zähler der Aufbau einer sehr exakten digitalen Stoppuhr möglich. Oder ein Zähler für die Windungszahlkontrolle bei dem Selbstwickeln von Spulen. Hier kann die Windungszahl vorgegeben werden, der Zähler zählt dann rückwärts und gibt an seinem Carry-Out-Ausgang bei Null einen Impuls ab, der die Wickelmaschine stoppt. Ausführliche Unterlagen und Applikationen können bei der Firma MOSTEK angefordert werden, die diese IS herstellt.
Hier ist die IS als Vorwärtszähler geschaltet, der nach der Torzeit das Zählergebnis anzeigt und wieder zurückgesetzt wird. Dazu legen wir die

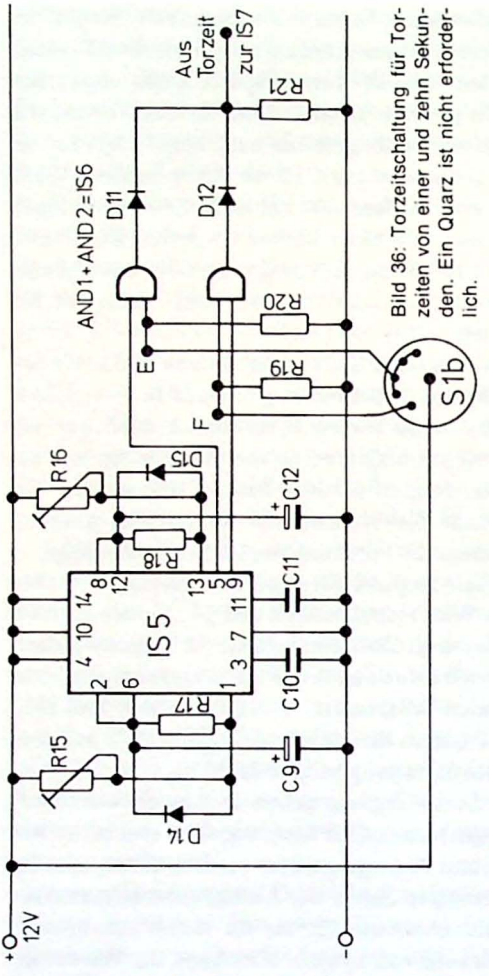


Bild 36: Torzeitschaltung für Torzeiten von einer und zehn Sekunden. Ein Quarz ist nicht erforderlich.

Setzeingänge Anschluß 11 bis 14 über Kondensatoren und die Anschlüsse 2 und 28 direkt an Plus fest. C15 am Anschluß 16 bestimmt die Multiplexfrequenz des Zählers.

IS 7, ein zweifaches D-Flip-Flop, bewirkt die gesamte Umschaltung des Zählers. Eine genaue Beschreibung soll nicht erfolgen, die wäre nur bei dem Aufbau eines echten Frequenzmeßgerätes notwendig. Hier nur eine kurze Übersicht: Solange der Torimpuls anliegt, liegt über die IS 7 am Anschluß 26 L-Potential an, der Zähler zählt die Impulse am Anschluß 25, zeigt sie aber noch nicht an. Ist die Torzeit beendet, kippt der erste Flip-Flop in der IS 7, Anschluß 26 bekommt H-Potential und stoppt den Zählvorgang. Gleichzeitig kippt der zweite Flip-Flop in der IS 7, Anschluß 10 bekommt nun L-Potential. Der Stand des Zählers wird in den Zwischenspeicher (Latch) der IS 8 übernommen und angezeigt. Das zweite Flip-Flop ist durch die äußere Beschaltung mit R22 und C13 als Monoflop geschaltet, es kippt nach der hier eingestellten Mono-Zeit selbst zurück, Anschluß 10 bekommt wieder H-Potential. Das Zwischenregister wird vom Zähler getrennt und

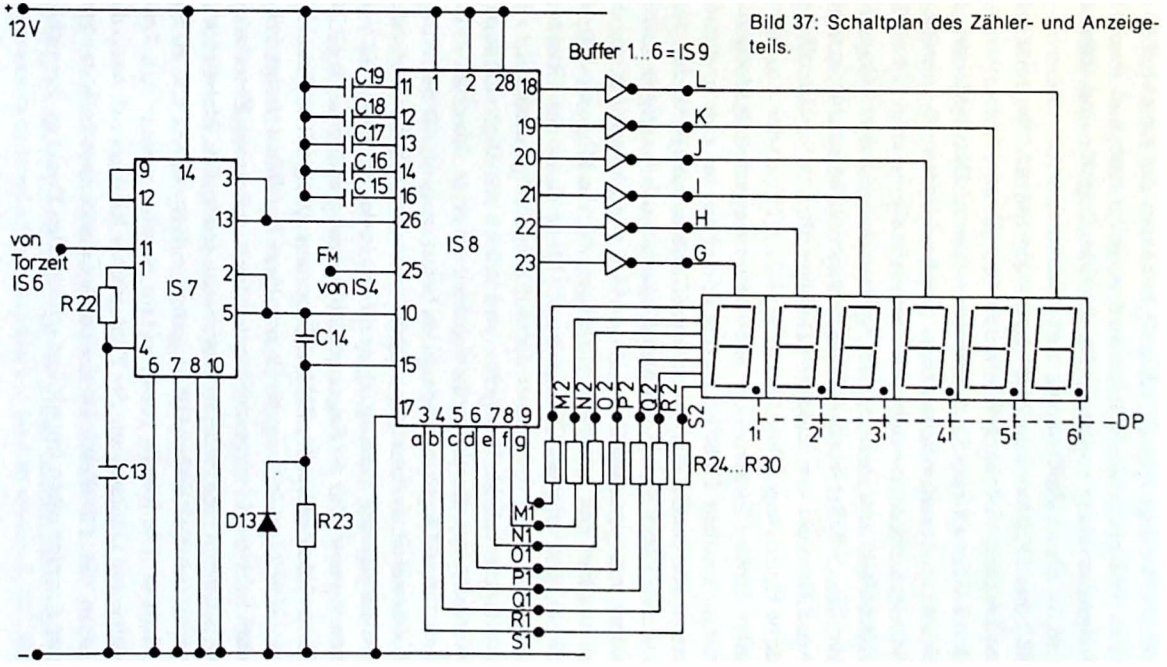


Bild 37: Schaltplan des Zähler- und Anzeigeteils.

hält die Anzeige fest. Gleichzeitig bekommt der Anschluß 15 über C14 einen H-Impuls, der Zähler wird zurückgesetzt und beginnt mit der Frequenzzählung von vorn. Da Zwischenregister und Zähler getrennt sind, ist dieser Zählvorgang nicht sichtbar.
R23 und D13 leiten negative Spannungsspitzen, die beim Umschalten am Eingang 15 entstehen könnten, ab.
Der Zähler arbeitet im Multiplexverfahren. Dies bedeutet, daß keine einzelnen Anzeigen angesteuert werden können. Es müssen entweder Anzeigenzeilen verwendet werden, wie sie auch in Taschenrechnern üblich sind, oder einzelne Anzeigen müssen mit den 7 Segmenten a – g parallelgeschaltet werden. Da es hier zu viele Möglichkeiten gibt und die Anschlüsse der verschiedenen Displays allzu unterschiedlich sind, wird keine Platine angegeben. Auch die Größe (Höhe) der Anzeige wird wohl jeder Hobby-Elektroniker nach seinen eigenen Anforderungen bestimmen wollen. Es ist bei diesem Zähler nur auf eine bestimmte Eigenart zu achten, die ihn von anderen Zählern unterscheidet. In fast allen anderen Fällen sind die Zähler für bestimmte Anzeigen ausgelegt, entweder mit gemeinsamer Anode oder gemeinsamer Kathode. Dieser Zähler hier gibt an seinen Ausgängen, für die Digits wie für die 7 Segmente, grundsätzlich H-Impulse ab. Dadurch ist der Einsatz aller Anzeigen möglich, wenn einer der Ausgänge umgekehrt wird. Wir wollen nur eine Möglichkeit angeben und kehren die Digitausgänge um. Dies geschieht mit der IS 9, einem 6-fach-Inverter. Invertieren bedeutet ja umkehren. Liegt am Eingang des Inverters H an, ist der Ausgang L. Es können also nur Anzeigen mit gemeinsamer Kathode verwendet werden. Da die gesamte Versorgungsspannung in der Schaltung 12 Volt beträgt, benötigen wir für die Segmente Begrenzungswiderstände (R24 bis 30).
Einen Nachteil hat der Zähler. Gegenüber anderen besitzt er keine automatische Umschaltung des Dezimalpunktes. *Bild 41* zeigt, wie wir es mit dem Schalter S1 c verwirklichen können, wenn wir Einzelanzeigen verwenden und die Punkte einzeln ansteueren wollen. Haben wir Anzeigenzeilen mit nur einem DP-Eingang, müssen wir S1 c nach *Bild 42* beschalten. Die jeweils gemultiplexte Anzeige steuert den Transistor T2 durch den Digitausgang des Zählers über Rx dann auf, wenn die Anzeige „dran" ist. Für diesen kurzen Moment bekommt auch der DP-Eingang der Anzeige einen Impuls und schaltet den Punkt an der richtigen Stelle an.

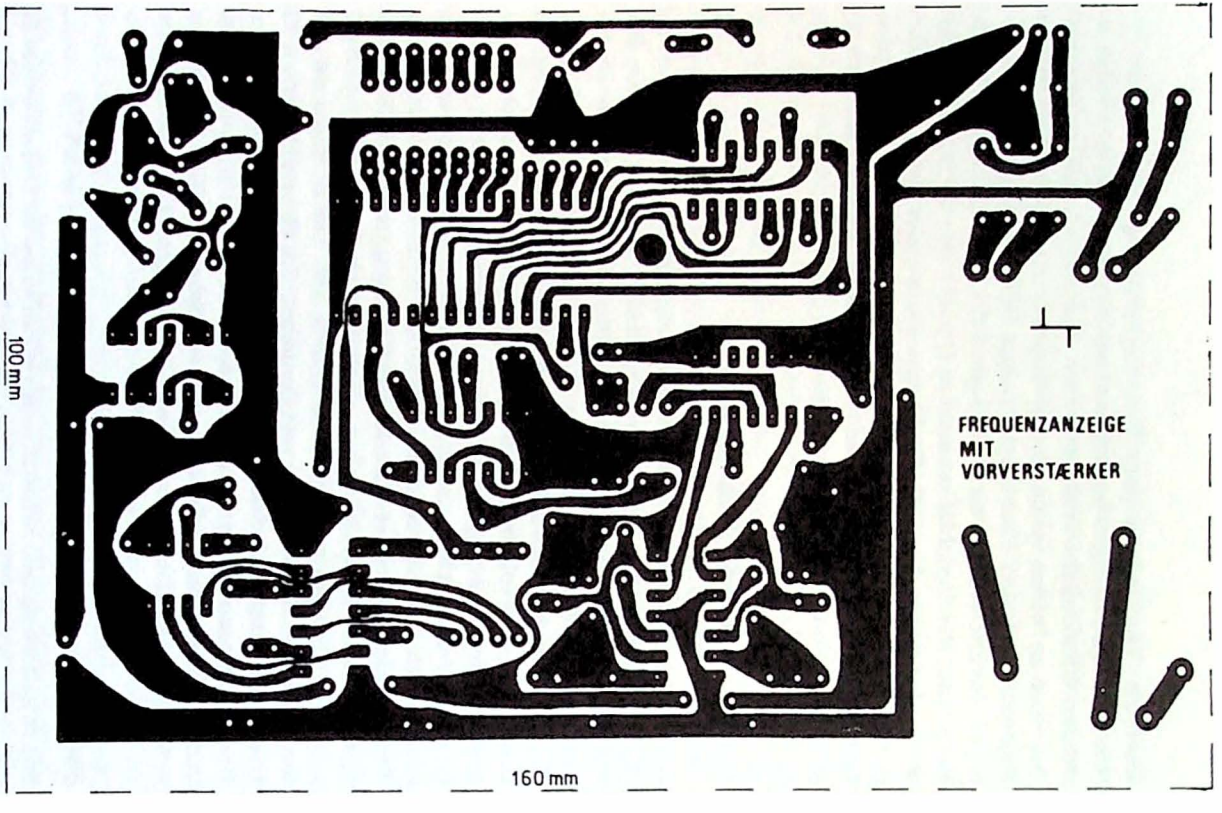
Über die Verwendung einer Fluoreszenz-Anzeige wurde schon berichtet. Diese Anzeigen benötigen einmal eine Heizung, die wir aus der zweiten Wicklung des Trafos gewinnen. Zum anderen müssen aber diese Anzeigen an beiden Seiten, also die Digits und die 7 Segmente, mit Plus angesteuert werden. Hier kommt uns der Zähler nun entgegen. Statt des 6-fach-Inverters setzen wir für IS 9 eine CD 4050 ein, dies ist ein 6-fach-Buffer, der das Signal nicht umkehrt. Damit haben wir für die Anzeige auf beiden Seiten Plus. Ob die 7 Segmente vor oder hinter den Widerständen R24 bis 30 angeschlossen werden, muß ausprobiert werden. Ohne Widerstände könnte eventuell die Multiplexfrequenz sichtbar werden. Beide Anschlußarten sind möglich, M 1 (M 2) bis S 1 (S 2).

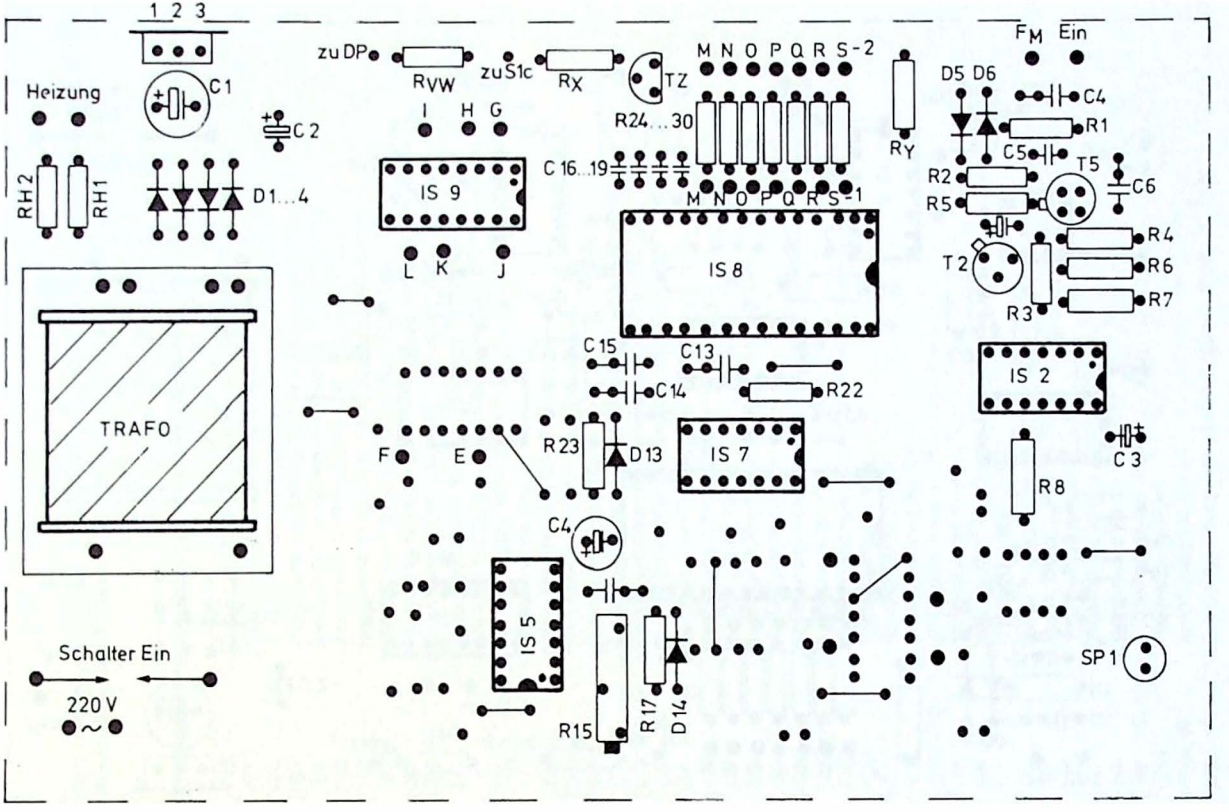
11.2 Der Aufbau der Frequenzanzeige

Bild 38 zeigt den Platinenentwurf für die Anzeige. Die Platine ist so eingerichtet, daß beide Aufbauten möglich sind. *Bild 39* zeigt den Bestückungsplan für den kleinen Aufbau, *Bild 40* für den großen. Zu der Bestückung ist nun wohl nicht mehr viel zu sagen, wenn nicht alles bisher Erwähnte wiederholt werden soll. Darum nur einige Besonderheiten, die beachtet werden sollten. IS 2 und IS 3 sollten ohne Fassung direkt eingelötet werden. Die anderen IS können auf Fassungen gesetzt werden, besser ist aber auch hier ein festes Einlöten. Doch sollte das nur derjenige tun, der sich seiner Sache ganz sicher ist. Die Nase an der Abbildung von T1 zeigt, wie der Doppel-Gate-MOS-FET eingesetzt wird, die Anschlüsse sind bei allen Typen, wie schon erwähnt, gleich. Beim T2 zeigt die Nase an, wo der Emitter angeschlossen werden muß. Die IS zeigen mit den Kerben alle in eine Richtung, mit Ausnahme der IS 4 und 5, die um 90 Grad verdreht sind, und der IS 6, die sogar entgegengesetzt zeigt.
Bei dem großen Aufbau muß der Schalter S1 eingesetzt werden. Dazu benötigen wir 3 mal 5 Stellungen. Diese Schalterart gibt es nicht, wir nehmen eine mit 2 Ebenen und je 2 x 6 Stellungen. Die Reihenfolge der

Bild 38: Ätzplan der Platine zur Frequenzanzeige, S. 106 (siehe auch S. 123).

Bild 39: Bestückungsplan zu Bild 38 für den kleinen Ausbau der Frequenzanzeige. Es muß auf die richtige Verbindung mit den Drahtbrücken geachtet werden, S. 107.


100 mm
160 mm
FREQUENZANZEIGE
MIT
VORVERSTÆRKER


1 2 3
Heizung
C1
C2
RH2
RH1
D1...4
zu DP
RVW
zu S1c
RX
TZ
I H G
IS 9
L K J
M N O P Q R S-2
R24...30
C 16...19
M N O P Q R S-1
RY
FM Ein
D5 D6
C4
R1
C5
T5
C6
R2
R5
R4
R6
R7
T2
R3
IS 8
TRAFO
C15
C13
C14
R22
IS 2
F
E
R23
D13
IS 7
C3
R8
C4
IS 5
R15
R17
D14
SP1
Schalter Ein
220 V

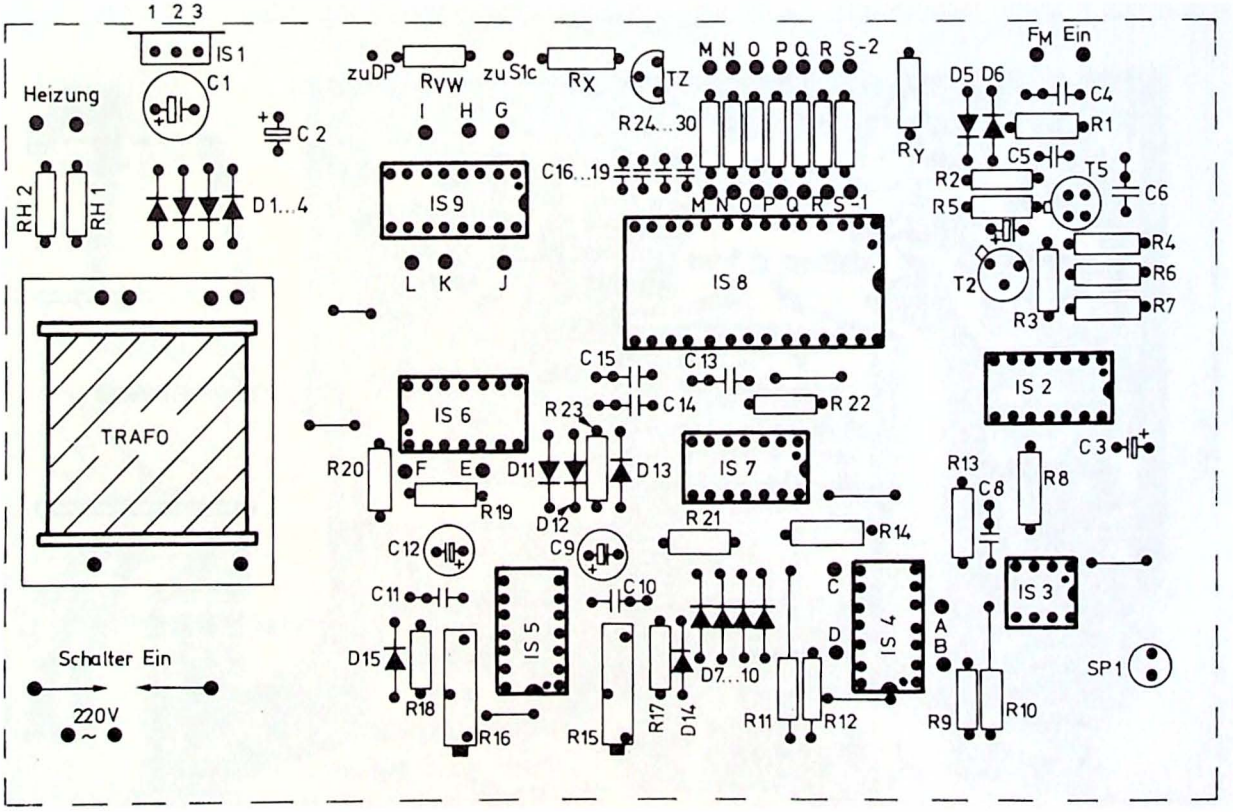

1 2 3
IS 1
C 1
Heizung
C 2
RH 2
RH 1
D 1...4
TRAFO
Schalter Ein
220V
zuDP
RVW
zuS1c
RX
TZ
M N O P Q R S-2
R24...30
C16...19
M N O P Q R S-1
IS 9
I H G
L K J
IS 8
RY
FM Ein
D5 D6
C4
R1
C5
T5
C6
R2
R5
T2
R4
R6
R7
R3
C 15
C 13
C 14
R 22
IS 6
R23
IS 2
C 3
R20
F E
D11
D13
IS 7
R19
D12
R13
C8
R8
R 21
R14
C12
C9
C10
C11
IS 5
IS 4
IS 3
C
D
A
B
D15
R18
R16
R15
R17
D14
D7...10
R11
R12
R9
R10
SP1

Bild 40: Bestückungsplan des kompletten Aufbaus der Frequenzanzeige zu Bild 38. Die Anschlüsse des Schalters S 1 a bis c sind mit Buchstaben gekennzeichnet.

Stückliste Frequenzanzeige, kompletter Ausbau

1	Trafo 2 x 12 Volt/0,4 A oder 1 x 12 Volt/0,4 A. Siehe Text
IS1	7812, Festspannungsregler für 12 Volt
IS2	Integrierte Schaltung 4093, vierfach NAND-Schmitt-Trigger
IS3	Integrierte Schaltung SAJ 141, Frequenzteiler
IS4	Integrierte Schaltung 4001, vierfach NOR-Gatter
IS5	Integrierte Schaltung NE 556, zweifach Timer
IS6	Integrierte Schaltung 4081, vierfach AND-Gatter
IS7	Integrierte Schaltung 4013, Dual-Flip-Flop
IS8	Integrierte Schaltung MK 50398 N, 6-stelliger Zähler
IS9	Integrierte Schaltung 4049 oder 4050, siehe Text
T1	Doppel-Gate-MOS-FET-Transistor 40602, 40603, 40604, 40673, 40821, 40841, 3 N 200, 3 N 201 bis 206, BFR 84, BFS 28 siehe Text
T2	HF-Transistor NPN, 2 N 5179, BC 109 C, BFR 49, BFS 17, BFS 57 siehe Text
Tz	NPN-Transistor BC 548 o.ä.
D1 – 15	15 Dioden 1 N 4001 o. ä.
SP 1	Festspule 10 µH, siehe Text
C1	Elektrolytkondensator 1000 oder 2200 µF/16 Volt stehend
C2	Elektrolytkondensator Tantal 10 µF/16 Volt
C3	Tantal-Elektrolytkondensator 2,2 µF/16 Volt
C4	Kondensator 470 nF
C5	keramischer Kondensator 100 pF
C6	Kondensator 100 nF
C7	Tantalelektrolytkondensator 10 µF/16 Volt
C8	Kondensator 680 pF
C9	Elektrolytkondensator 10 µF/16 Volt stehend
C10, 11	2 Kondensatoren 10 nF siehe Text
C12	Elektrolytkondensator 100 µF/16 Volt stehend
C13	Kondensator 470 nF
C14	Kondensator 100 nF
C15	Kondensator 1000 pF
C16 – 19	4 Kondensatoren 100 pF keramisch
RH 1	Widerstand 220 Ω
RH 2	Widerstand 820 Ω oder 680 Ω siehe Text
R1, 4, 6, 23	4 Widerstände 10 kΩ
R2	Widerstand 1 MΩ
R3	Widerstand 100 Ω
R5	Widerstand 470 Ω
R7	Widerstand 330 Ω
R8	Widerstand 56 Ω
R9 – 12, 19 ,20	6 Widerstände 8,2 kΩ
R13	Widerstand 33 kΩ
R14, 21	2 Widerstände 2,2 kΩ
R15, 16	2 Wendeltrimmpotentiometer 100 kΩ *(Forts. S. 110)*

R17, 18	2 Widerstände 27 kΩ
R22	Widerstand 22 kΩ
R24 – 30	2 Widerstände 270 Ω
Rvw	Widerstand 270 Ω
Rx	Widerstand 100 Ω
Ry	Widerstand 10 kΩ

1 Drehschalter 2/4/6, das sind 2 Ebenen mit je 2 x 6 Stellung.
1 Platine Europaformat 100 mm x 160 mm
1 6-stellige Anzeige mit gemeinsamer Kathode oder 6 einzelne Anzeigen mit Kathodenanschluß oder eine mehrstellige Anzeige, von der dann nur 6 Stellen benutzt werden. Siehe Text.

Anschlüsse ist in den Bildern angegeben und so gestaltet, daß beim Linksanschlag des Schalters die Anzeige 0,1 Hz messen kann. Das bedeutet, in Stellung 1 ist bei der IS 4 NOR 1 durchgeschaltet, IS 6 läßt die Torzeit von 10 Sekunden durch, und der Punkt steht hinter der zweiten Anzeigenstelle von links. Mit jeder weiteren Stellung verschiebt sich der Punkt um eine Stelle nach rechts. Die Frequenz wird ab Stellung 3 immer durch 10 geteilt, und ab Stellung 2 gilt die Torzeit von einer Sekunde.
Tafel 4 Fotos 7 und 8 zeigen das fertige Mustergerät, das vollkommen ausgebaut ist.

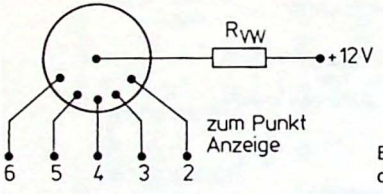


Bild 41: Beschaltung des Schalters S 1 c bei der Verwendung von Einzelanzeigen.

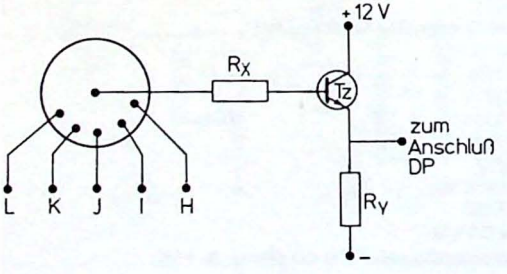


Bild 42: Beschaltung des Schalters S 1 c bei der Verwendung von Anzeigenzeilen für Multiplexbetrieb.

11.3 Abgleich der Frequenzanzeige

Der Abgleich ist sehr einfach. Wir legen an den Eingang des Vorverstärkers eine Spannung mit 50 Hz. Die können wir über einen Trafo mit 6, 8, 12 oder 15 Volt usw. gewinnen. Ist die Anzeige komplett ausgebaut, stellen wir den Schalter S 1 auf Stellung 2. Mit R14 gleichen wir nun die Anzeige auf 000.050 ab. Wir warten dann einige Minuten, ob sich die Anzeige ändert. Das kann nach einer gewissen „Einbrenndauer" des Gerätes geschehen. Ändert sich nichts, ist der Abgleich für den kleinen Aufbau schon beendet, sonst muß noch einmal nachgeregelt werden. Beim großen Aufbau stellen wir S 1 nun auf Stellung 1. Mit R16 gleichen wir die Anzeige auf 00.0500 ab. Dabei müssen wir immer einige Zeit warten, durch die Torzeit von 10 Sekunden steht die Anzeige immer erst nach einiger Zeit stabil. Durch diese beiden Abgleichsvorgänge ist die Anzeige betriebsbereit.

Gemessen werden kann in folgenden Bereichen:

00.0000 bis 99.9999 kHz
000.000 bis 999.999 kHz
0000.00 bis 9999.99 kHz
00000.0 bis 99999.9 kHz
000000. bis 999999. kHz.

Bild 43 zeigt noch eine Grafik, die die Eingangsempfindlichkeit des Vorverstärkers aufzeigt. Es wurde schon darauf hingewiesen, daß bis zu 100 Volt angelegt werden können. Der Zähler benötigt Impulse mit einer Amplitude von mindestens 10 Volt. Deshalb auch der Vorverstärker, denn der Funktionsgenerator bringt kleinere Amplituden. Die Grafik zeigt, daß in den wichtigen Bereichen die Empfindlichkeit bei 0,02 Volt, also 20 mV, liegt und bei höheren Frequenzen immerhin noch bei 50 bis 60 mV. Nur unterhalb 50 Hz wird es kritisch, hier wirkt C4 als Sperre, die Frequenz ist zu klein. Die Amplitude muß nun mindestens 1 Volt betragen, mit dieser Höhe wird dann aber auch noch 0,1 Hz einwandfrei gemessen.

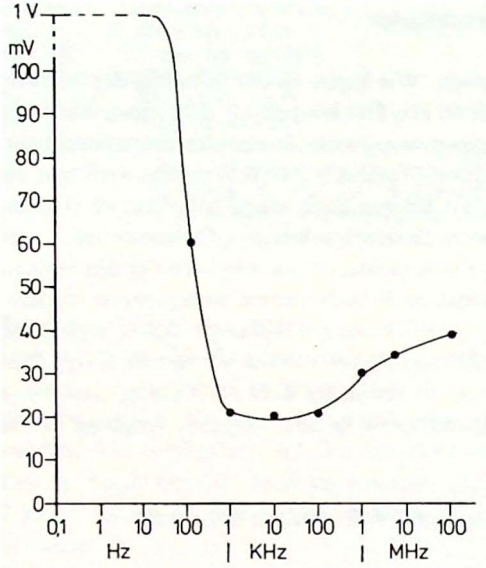


Bild 43: Empfindlichkeit des Vorverstärkers bei verschiedenen Frequenzen.

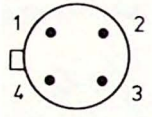


Bild 44: Anschlußbild des Doppelgate-MOS-FET von unten gesehen.

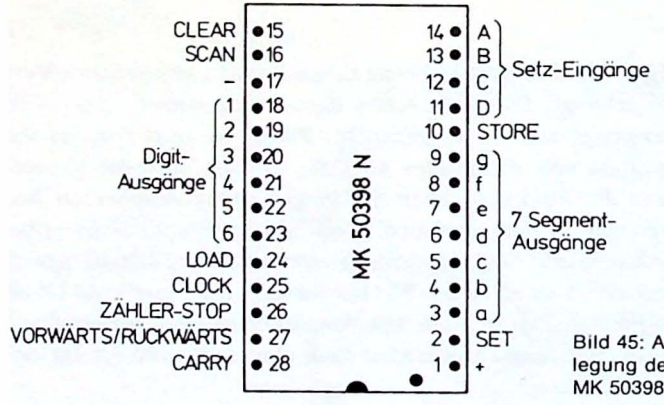


Bild 45: Anschlußbelegung des Zählers-IS MK 50398 N

12. Anhang

12.1 Widerstandstabelle

Die Reihenfolge der Werte:

1,0	10	100	3,3	33	330
1,2	12	120	3,99	39	390
1,5	15	150	4,7	47	470
1,8	18	180	5,6	56	560
2,2	22	220	6,8	68	680
2,7	27	270	8,2	82	820

Farbcode bei Widerständen

Farbe	1. Ring	2. Ring	3. Ring Zahl der Nullen	Bereich	4. Ring
schwarz	0	0		1-99 Ω	
braun	1	1	0	100-99 Ω	+/– 1 %
rot	2	2	00	1-9,9 kΩ	+/– 2 %
orange	3	3	000	10-99 kΩ	
gelb	4	4	0000	100-990 kΩ	
grün	5	5	00000	1-9,9 MΩ	
blau	6	6	000000	10-99 MΩ	
violett	7	7			
grau	8	8			
weiß	9	9			
gold			x 0,1	0,1-9,9 Ω	+/– 5 %
silber			x 0,01	0,01-0,9 Ω	+/– 10 %
keine					+/– 20 %

13. Bezugsquellenverzeichnis

Alle in diesem Band verwendeten Bauteile sind handelsüblich und in jedem gut sortierten Elektronikfachgeschäft zu bekommen. Nachfolgend eine Zusammenstellung – die keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt – einiger bekannter Fachgeschäfte und Versandfirmen. Darüber hinaus kann auch das jeweilige Branchenfernsprechbuch (Stichwort: Elektronik) herangezogen werden.

MB-electronic (L), Josefstr. 15, 7737 **Bad Dürrheim**
Atzert-Radio (L), Stresemannstr. 100, **1 Berlin 61**
Merkur-Electronic (L), Albrechtstr. 98, **1 Berlin 41**
Völkner (LV), Marienbergerstr., 33 **Braunschweig**, Postf. 5320
Elektronikladen (LV), Wilhelm-Melliesstr. 88, 493 **Detmold 18**
Arlt-Radio (L), Am Wehrhahn 75, 4 **Düsseldorf**
Radio-Fern-Elektronik (L), Kettwigerstr. 56, 43 **Essen**
Mainfunk (L), H. Wenzel, Elbestr. 30, 6 **Frankfurt/M.**
Balü-Electronic (LV), Burchardplatz 1, 2 **Hamburg 1**
Conrad (V), Schönbrunnerstr. 54, 8452 **Hirschau,** Postf. 121
Schuberth-Electronic-Versand (V), Postf. 260, 866 **Münchberg**
Radio-RIM (LV), Bayerstr. 25, 8 **München 2**
Holzinger-Electronic (LV), Schillerstr. 25, 8 **München 2**
Oppermann (LV), Dühlfeld 29, 3051 **Sachsenhagen**
Chr. Weber (LV), Mörikestr. 79, 59 **Siegen 1**
Arlt-Elektronik (L), Katharinenstr. 22, 7 **Stuttgart 1**
Radio-Dräger (L), Sophienstr. 21, 7 **Stuttgart 1**
Penny-Electronic (L), Neckarstr. 86, 7 **Stuttgart 1**
Dahms-Elektronik (LV), Postf. 1120, 6806 **Viernheim**
(L) = Ladenverkauf; (V) = vor allem Versand
Electronic-Shop, Feldbergstr. 142, CH-4057 **Basel**
Electronic-Shop, Meinrad-Lienertstr. 15, CH-8003 **Zürich**
Dahms-Elektronik,Griesplatz 12, A-8020 **Graz**
Bühler-Elektronik, Neutorstr. 17, A-5020 **Salzburg**
S-Elektronik, Fiakerplatz 8, A-1030 **Wien**

Das 3A-Instant-Print-System

Abtrennen

Die 3A-Instant-Print-Vorlagen finden Sie am Ende des Buches auf perforierten, einseitig bedruckten Seiten zusammengestellt. Im Gegensatz zu den Leiterbahndarstellungen des Textteils sind sie gekontert d. h. seitenverkehrt abgebildet, und die Beschriftung erscheint spiegelbildlich. Vor dem Abtrennen an der Perforation scharf falzen, beim Heraustrennen umsichtig vorgehen, ein Einreißen der Vorlage ist zu vermeiden, da sie nicht mit Klebefilm repariert werden kann.

Ansprühen

Die Vorlage mit Klarpaus-Spray ansprühen. Klarpaus-Spray ist in Geschäften für Zeichenbedarf erhältlich, wird aber auch schon in den Katalogen einiger Elektronik-Versandhändler geführt (z. B. RIM, München). Hersteller von Klarpaus-Spray ist z. B. die Fa. Marabu, Marabuwerke, 7146 Tamm. Man besprüht die Vorlage gleichmäßig aus etwa 30 cm Entfernung und läßt sie dann abtrocknen, bis sie nicht mehr feucht glänzt. Gegen das Licht gehalten erscheint die Print-Vorlage jetzt milchig-durchscheinend. Die Wirkung des Klarpaus-Sprays hält 1-2 Stunden an, dann wird die Vorlage wieder undurchsichtig. Eine Vorlage kann mehrfach eingesprüht werden.

Ausleuchten

Die Übertragung der 3A-Instant-Print-Vorlage auf eine positiv-fotobeschichtete Leiterplatte unterscheidet sich nur in einem wichtigen Detail von der üblichen Fototransfer-Methode: *die 3A-Instant-Print-Vorlage muß mit der bedruckten Seite nach unten auf die Leiterplatte gelegt werden.* Nur dann entsteht das seitenrichtige Abbild der Leiterzüge. Für Hobby-Elektroniker, die noch keine Erfahrung mit dem Fotoverfahren haben, ist nachstehende Kurzanleitung gedacht (eine ausführliche Beschreibung

findet sich z. B. in F. Schiersching, Das große Bastelbuch: Elektronik für Modellbahner, Telekosmos Verlag, Stuttgart 1980):

1. Lichtschutzpapier der positiv-fotobeschichteten Leiterplatte entfernen.
2. 3A-Instant-Print-Vorlage mit der bedruckten Seite nach unten auflegen.
3. Mit Glasplatte bedecken, die Print-Vorlage muß völlig plan auf der Leiterplatte aufliegen, gegebenenfalls zusätzlich beschweren.
4. Leiterplatte u. Vorlage senkrecht von oben, gleichmäßig ausleuchten. Das Licht der Lampe soll einen hohen UV-Anteil haben; geeignete Lampentypen sind z. B.: Osram Ultra-Vitalux E 27, Osram Nitraphot S 250 W.
5. Belichtungszeit und Lampenabstand sind von Plattengröße, Lampentyp und Dicke der Glasplatte abhängig; allgemein gültige Angaben können nicht gemacht werden, für Unerfahrene sind Vorversuche unerläßlich. Typische Daten für Europakarten-Format, 5 mm Glasdicke und Osram Vitalux mit 3A-Instant-Print-Vorlagen: Belichtungszeit 5-8 min., Abstand 25 cm.

Entwickeln und Ätzen

Entwickeln und Ätzen können mit den handelsüblichen Chemikalien und Systemen nach Herstellervorschrift durchgeführt werden. Als Entwickler für die meisten positiven Fotobeschichtungen eignet sich kalte Natronlauge 0,9 % (genau 9 Gramm Ätznatron in 1 Liter Wasser lösen). Die Entwicklung wird z. B. in einer Fotoschale durchgeführt und muß ständig kontrolliert werden. Es werden dabei die (unbelichteten) Leiterbahnen innerhalb weniger Minuten sichtbar, von den (belichteten) Zwischenräumen löst sich der Fotolack ab. Bei zu langer Entwicklung werden auch die unbelichteten Stellen angegriffen. Die entwickelte Platte wird mit Wasser gespült und in das Ätzbad überführt. Ein häufig verwendetes Ätzmittel ist z. B. Eisen-III-Chlorid (500 Gramm pro 1 Liter Wasser).

Bild 9

Bild 24

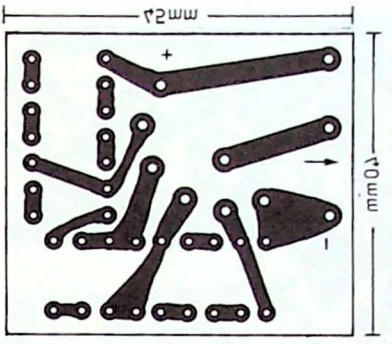


Bild 15

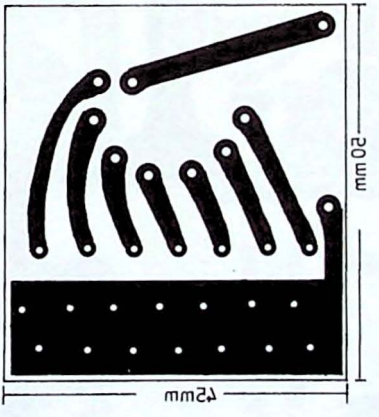


Bild 26

Bild 38

Friedhelm Schiersching beschäftigt sich seit 30 Jahren mit Elektronik. Den Umgang mit Röhre, Transistor, Integriertem Schaltkreis und Mikroprozessor, das Schalten und Programmieren hat er in eigener Praxis erarbeitet. Er kennt die Probleme des Hobby-Elektronikers aus eigener Erfahrung und versteht auf sie einzugehen. Durch Zufall auf die Modellbahnelektronik gestoßen, hat er seit 1977 eine Reihe erfolgreicher Titel verfaßt, die bereits in mehrere europäische Sprachen übersetzt wurden.

Meßwertgeber und Funktionsgenerator – selbstgebaut

Die Freude am selbstgebauten (oder gekauften) Meßgerät wird meist durch Zweifel an dessen Genauigkeit getrübt. Abhilfe schafft hier ein Kalibrator, dessen preiswerter Selbstbau in allen Details vorgestellt wird. Derart ausgerüstet können Schaltungen exakt abgeglichen und Multimeter, Frequenzzähler und Oszilloskope auf Präzision getrimmt werden.

Das 3A-Instant-Print-System...

...für die schnelle und fehlerfreie Platinenherstellung.
Jetzt fertigen Sie Platinen
- ohne Aufkleben und Durchreiben
- ohne Abdecken, Malen und Pinseln
- ohne Abpausen und Umkopieren

direkt mit den Vorlagen dieses Buches. Sie müssen nur noch

Abtrennen

Einseitig bedruckte Print-Vorlage an der Perforation abtrennen.

Ansprühen

Durch Ansprühen mit Klarpaus-Spray wird die Vorlage durchscheinend.

Ausleuchten

Mit der bedruckten Seite nach unten auf die fotobeschichtete Platine legen und belichten.

Ausführliche Arbeitsanleitung im Innenteil des Buches.

Schiersching, Messwert
ISBN 3 440 04975 0